水力資源有効活用技術開発調査

小水力資源有効活用技術開発調査

報　告　書

簡易発電システム設計マニュアル(案)の策定
及び 実例(実証試験)に関する調査・検討

平成 17 年度

平成 18 年 3 月

経済産業省　資源エネルギー庁

財 団 法 人　新エネルギー財団

まえがき

我が国は，世界有数のエネルギー消費国であり，依然として一次エネルギー供給の８割以上を輸入に依存するという，極めて脆弱なエネルギー構造を持っている。このため，エネルギーセキュリティ面の観点から，エネルギーの安定供給を確保することは引き続き重要な政策課題である。

また，平成 17 年 2 月 16 日，気候変動枠組条約第 3 回締約国会議(COP3)で採択された「京都議定書」(1997)が，141 ケ国・地域（EU 連合含む）の批准により発効された。この中で我が国は，温室効果ガスの排出量を，2008 年から 2012 年の平均値で 1990 年に比べ，6%削減することを義務付けられている。しかし，最近の実績では基準年を逆に数％上回る状況にあるため，短期間のうちにより実効性の高い対策を講じていくことが喫緊の課題となっている。

このような目標の達成に当たっては，わが国においても「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（いわゆる RPS 法）が施行され，本格的な取り組みがなされている。

再生可能エネルギーの中で「水力」は，設備利用率が高く，単位発電量あたりの CO_2 排出量も格段に少ないことから，今後の再生可能エネルギー開発政策の中核に位置づけられるべきエネルギーである。総合資源エネルギー調査会需給部会は，平成１３年７月の「長期エネルギー需給見通し」において，1990 年度の一般水力発電供給量 788 億 kWh に対して，2010 年度には 803 億 kWh が必要としている。

河川維持流量，農業用水，砂防ダムを利用した発電や，水路式発電所に地下調整池を付加した発電は取水設備等，既存の設備を利用することができるため，新規開発に比べ環境負荷が小さい。しかし，これまでは経済性に劣る等の理由で開発されてこなかったため，経済性を向上させる技術開発を行うことにより，これらの地点の開発を促進することが可能となる。「水力資源有効活用技術開発調査」はこれらの地点を経済的に開発するため，平成１４年度から開始した技術開発調査で，「小水力資源有効活用技術開発調査」及び「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」から構成されている。

本報告書は，平成 17 年度に資源エネルギー庁が（財）新エネルギー財団に委託して実施した，「水力資源有効活用技術開発調査」のうち「小水力資源有効活用技術開発調査」に関する調査検討について取りまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては，(財)新エネルギー財団に委員会および専門部会を設置し，本調査に関する基本的事項，具体的・専門的事項について審議した。

本調査の実施にあたりご指導，ご協力いただいた関係各位に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

平成１８年３月

小水力発電部会　委員名簿

(平成１７年度)

役名	氏 名	所 属 お よ び 職 名		
主査	山中　豪俊	電源開発㈱	エンジニアリング事業部	発電技術グループリーダー
副主査	笠原　強造	東京電力㈱	建設部　土木調査･新規事業検討グループ	副長
委員	細越　亮	東北電力㈱	土木建築部　水力土木グループ	主任
委員	大濱　隆司	九州電力㈱	土木部　土木計画･建設グループ	チーフ
委員	高橋　誠人	群馬県企業局	発電課	主任
委員	白石　達也	東京発電㈱	水力事業部　運営管理グループ	マネージャー
委員	大和　昌一	富士電機システムズ㈱	e-ソリューション本部　エネルギーソリューション統括部　営業技術部	担当部長
委員	柴田　直俊	㈱明電舎	発電制御装置部	副部長

目　次

Ⅰ　概　要

第１章　調査概要

Ⅱ　詳細調査・技術的検討

第１章　一般市販管の水圧管路への適合に向けた基準の調査・検討

第２章　水車等に関する海外機器製作者の技術調査

III　実例(実証試験)に関する調査・検討

第１章　個別地点の実例(実証試験)に関する調査・検討

第２章　個別要素技術に関するデータ収集・分析および評価

Ⅳ　簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子の策定

第１章　概　要

第２章　土木設備

第３章　電気機器

第４章　運　転・保　守

第５章　関係法令・基準等

設計マニュアル(案)の骨子　巻末資料

Ⅰ　概　要

第1章　調　査　概　要

1．1　調査目的

（財）新エネルギー財団が実施する「小水力資源有効活用技術開発調査」は，河川維持流量放流水，農業用水，砂防ダム，上水道・工業用および下水道の水など，落差・流量が小さくこれまで発電にあまり利用されてこなかった施設を対象として，低コストで簡易な発電システム（簡易発電システム）を構築することを目的とした調査である。

本調査は，平成 14 年度～18 年度にかけて実施が予定されており，調査スケジュールを表Ⅰ-1.1 に示す。

表Ⅰ-1.1　調査スケジュール

調査・検討項目	H14年度	H15 年度	H16 年度	H17 年度	H18 年度
基本構想の検討					
詳細調査・技術検討					
ケーススタディ					
実証試験要領作成					
実例(実証試験) に関する調査・検討					
簡易発電システム 設計マニュアル(案)の策定					

1．2　調査の基本方針

調査の基本的方針は，以下のとおりとした。

① 対象とする開発規模は 500kW 程度以下とする。

② 仕様・機能の簡素化および合理化による建設コストの低減を図る。

③ 運転・保守に要するコストの削減を図る。

④ 要求品質と保証品質を最低限度満足するシステム設計を行う。

⑤ 発電電力の消費について使用形態ごとの適用性評価を行う。

1．3　調査内容

本調査は，土木・電気機械設備に要求される仕様の合理化，機能省略，規格化などイニシャルコストを低減するための技術的検討および保守・運用管理コストを低減させるために必要な事項についての技術的検討を行った上で，簡易発電システムを構築し，ケーススタディを経て，最終的には導入・普及に資するマニュアルを作成することを目標にしている。

平成 17・18 年度は,「小水力資源有効活用技術開発調査（14～18 年度)」のうち「詳細調査・技術的検討」・「実例(実証試験)に関する調査・検討」および「簡易発電システム設計マニュアル(案)の策定」を実施する。

このうち，今年度の調査内容は「詳細調査・技術的検討」として，一般市販管に関する調査検討および水車等に関する海外機器製作者の技術調査を,「実例（実証試験）に関する調査・検討」では，個別地点の実例(実証試験)に関する調査・検討および個別要素技術のデータ収集・分析等を,「簡易発電システム設計マニュアル(案)の策定」では，平成 14 年度からの検討結果をとりまとめたマニュアル策定に向けた骨子について検討した。

１．４　調査項目

１．４．１　詳細調査・技術的検討

「第１章　一般市販管の水圧管路への適合に向けた基準の調査・検討」では，一般市販管の特性と，水圧管路としての要求性能を満足するための技術的根拠，および，一般市販管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応について整理し,その結果をとりまとめて「一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子」とした。

「第２章　水車等に関する海外機器製作者の技術調査」では，コスト削減の可能性を探るため海外機器製作者へのアンケート調査を実施し,その回答を整理した。また，既に海外機器を採用した国内事業者および海外機器に対応する国内メーカーと代理店に対して，契約から据付までの対応やメンテナンスなどについてアンケート調査を行い，その結果をとりまとめて海外機器採用に対する基礎資料とした。

１．４．２　実例(実証試験)に関する調査・検討

「第１章　個別地点の実例(実証試験)に関する調査・検討」では，水道施設，砂防ダム，農業用水路への小水力発電導入に関する実例調査を実施し,その結果をとりまとめて,個別地点への適用に向けた資料とした。

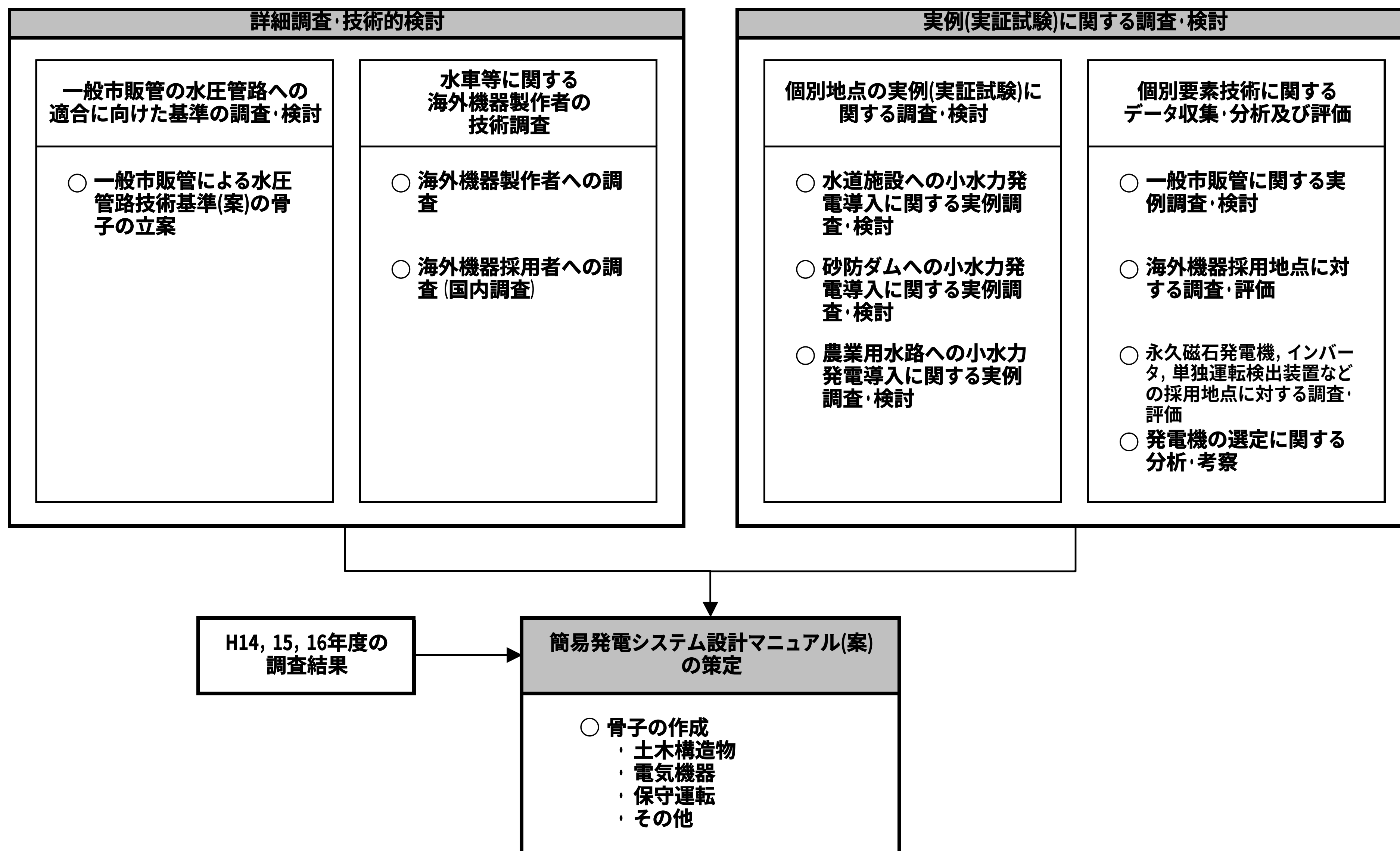
「第２章　個別要素技術に関するデータ収集・分析および評価」では，一般市販管，海外水車，永久磁石発電機およびインバータ等の採用地点などの調査をおこない，その結果をとりまとめた。また，単独運転検出装置に関する事例調査や発電機の選定についての分析結果をとりまとめて，個別要素技術を採用するための資料とした。

１．４．３　簡易発電システム設計マニュアル（案)の骨子要領の作成

調査初年度からの成果を総合的にとりまとめ，簡易発電システム設計マニュアル（案)の骨子とした。このマニュアル（案)の骨子は，コストダウンの実現に向けた簡易発電システムの基本構想をはじめ，土木・電気機器の要素技術，運転・保守，関連法令等について取りまとめたものである。さらに，マニュアルの巻末資料として，簡易発電システムの基本的な構成を示すモデル検討結果やケーススタディ，簡易発電システムで想定している施設

での小水力発電開発事例とモニタリング調査結果，実証試験要領，一般市販管に関する技術資料と一般市販管による水圧管技術基準(案)などを掲載し，簡易発電システムの関係資料とした。

調査内容の概要を図Ⅰ-1.1 に示す。



図Ⅰ-1.1　調査内容の概要

II　詳細調査・技術的検討

第１章　一般市販管の水圧管路への適合に向けた基準の調査・検討

第１章　一般市販管の水圧管路への適合に向けた基準の調査・検討

本章では，一般市販管の特性と，水圧管路としての要求性能を満足するための技術的根拠，および，一般市販管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応について整理し,その結果をとりまとめて「一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子」とした。

１．１　要求性能を満足させるための技術的根拠の整理

一般市販管の水圧管路への適用に向けた技術基準(案)の作成に際して基本となることは,『発電用水力設備の技術基準』(以降,“ 水技 ”と略す）の省令第 26 条に対応した「技術基準の解釈　第 22 条　水路のコンクリート以外の使用材料」の[解説]に記述される以下の文章中の“ 十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠 ”について，できるだけ客観的に整理することである。

> 「技術基準の解釈　第 22 条　水路のコンクリート以外の使用材料」
>
> **[解説]**
>
> （前略）水路のコンクリート以外の使用材料について既定したものであるが,十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば，本状に示した以外の材料の使用についても許容される

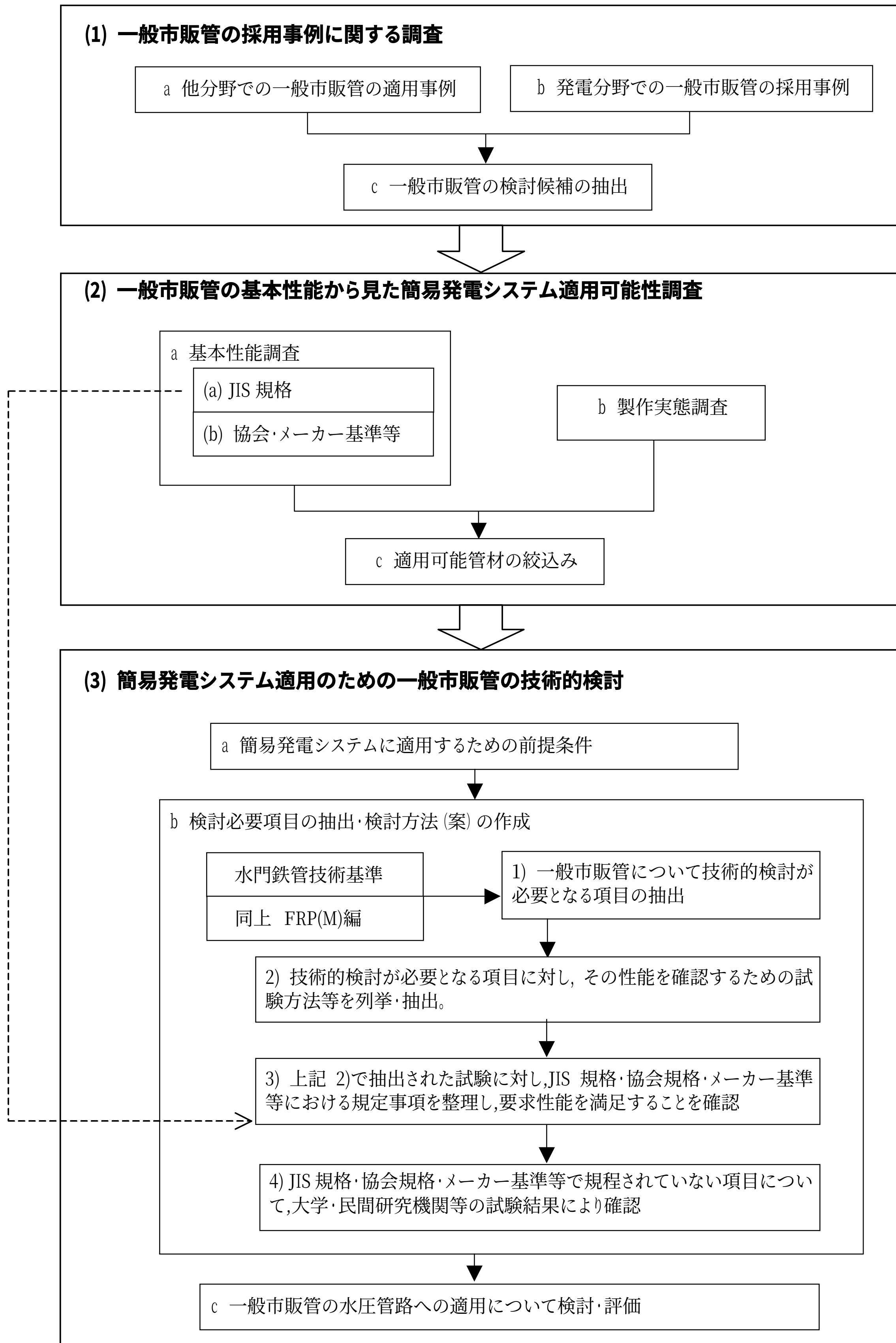
これまでは，まず内圧管としての一般市販管採用事例等の調査･検討により検討候補を抽出し,次に，基本性能や製作実態の調査から適用可能な一般市販管を絞り込んだ。

その結果，簡易発電システムとして適用可能な一般市販管として以下の４つの管種を選定した。

① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管）
② ポリエチレン管（ポリ管）
③ 耐圧ポリエチレンリブ管（リブ管）
④ プレストレストコンクリート管（PC 管）

この４種の一般市販管に対し，既往の基準（『水門鉄管技術基準 水圧鉄管編』及び『水門鉄管技術基準 FRP(M)編』）と比較する形で技術的に検討すべき項目を抽出し，その性能を確認するための試験方法を抽出・整理した。さらに，それらの試験が JIS 基準や協会基準,メーカー基準においてどのように規定され,必要な試験の全てに対応しているか,また,不足している場合は大学や民間研究機関などの試験により補完できるのか，ということについて調査・検討した。

ここまでの調査・検討の流れを図Ⅱ-1.1 に示す。また，適用管種の絞り込みについて表Ⅱ-1.1 に整理した。



図Ⅱ-1.1 これまで(H16 年度まで)の調査・検討のながれ

表Ⅱ-1.1　簡易発電システムへの適用の可否

	規格	基本性能		継手性能	製作実態	適用の可否
		使用圧力	管径			
硬質塩化ビニル管	JIS K 6741	○ (1.0MPa 以下)	○ (800mm 以下)	○	○	○
	JIS K 6742	○ (0.75MPa 以下)	× (150mm 以下)	○	○	×
ポリエチレン管	JIS K 6761	○ (規定なし)	○ (300mm 以下)	○	○	○
	JIS K 6762	○ (0.75MPa 以下)	× (50mm 以下)	○	○	×
	――	○ (1.0MPa 以下)	○ (1,500mm 以下)	○	○	○
耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780	○ (規定なし) (メーカー:0.1MPa 以下)	○ (2,000mm 以下)	○	○	○
遠心力鉄筋コンクリート管	JIS A 5372	○ (0.4～0.6MPa 以下)	○ (3,000mm 以下)	○	×	×
プレストレストコンクリート管	JIS A 5373	○ (規定なし) (協会:0.6MPa 以下)	○ (3,000mm 以下)	○	○	○

[凡例]；　使用圧力：○＝内圧管として使用可能，×＝内圧管として使用不可能
管　径　：○＝φ200 以上が存在，×＝φ200 以下
継手性能：○＝継手部が強度・水密性から弱点にならない，×＝継手部が弱点になる
製作実態：○＝製作している，×＝製作していない
適用可否：○＝簡易発電システムへの適用可能，×＝適用は難しい

これまでの調査・検討の結果，各管種とも，材料特性や継手性能，疲労特性，耐摩耗性といった面では，その性能を確認できる資料,試験結果などが把握された。

しかし，耐衝撃性や耐候性など，管自体の性能だけでは適用しきれなくなる項目があった。そのため，例えば耐衝撃性については，管に直接衝撃が加わらないように，埋設とすることや防御壁を併設するなどの設計面の対応によって，水圧管路への適用を可能とするものとした。

このように，一般市販管を水圧管路として適用するに当たり，管の基本性能として満足する部分（評価）と，設計（計画）で対応する部分（対応）を明確にするため,一般市販管を広く使用している水道分野や農業分野などの計画･設計基準を参考にして,一般市販管を簡易発電システムの水圧管路に適用するための要求性能を再整理した。

ここで，要求性能として整理・抽出した項目は,FRP(M)を水力発電所の水圧管路として採用する際に検討された項目を基本として，各管の技術基準や設計資料で検討されている項目を加えて，考えられる検討項目を総括したものである。

各管の基本性能の再整理結果を，塩ビ管について表Ⅱ-1.2，ポリ管について表Ⅱ-1.3，リブ管について表Ⅱ-1.4，PC 管について表Ⅱ-1.5 に示す。なお，PC 管については主要材料がコンクリートであり,水門鉄管技術基準に適合するものと考えられるため,継手性能についてのみ整理した。

表Ⅱ-1.2　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

[注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管			硬質塩化ビニル管（PVC-U）				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 [*1]	技術基準 [*2]	JIS K 6741 (1999)	協会規格[*3]資料[*4]	ﾒｰｶｰその他の資料[*5]	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	（確認方法等）								
1.1 管（供試片）の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	（該当する規定はない）	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	（該当する規定はない）	物性値として，「圧縮強さ73MPa」と記載[a]。（試験方法：JIS K 7181，15℃）	基本的な物性として，一定値を明示	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2 管（供試片）の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	（同上）	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	「23℃における引張降伏強さが45MPa以上」と規定[b]。（試験方法：JIS K 6815-1及びJIS K 6815-2）	物性値として，「引張降伏強さ52MPa」と記載[c]。（試験方法：JIS K 7113，15℃）	JIS基準に準拠することが基本	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において最も基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	JIS K 6815はISO規格の翻訳規格。JIS K 7113とは，試験片形状，引張速度等が異なる。 基準案⇒ 第14条
1.3 管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験（耐圧試験）	内圧（0.5～2.6MPa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	「常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定[d]。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	同上	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第3条 [解説] (7)
1.4 外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	（該当する規定はない）	設計上の許容たわみ率は5%としている。	（該当する規定はない）	1.5の扁平性がJISで規定されており，JISに準拠した製品であればその扁平性能（外圧に対する抵抗性）は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」[e]（以下，"農林基準"と略す）や日本水道協会　水道施設設計指針[f]（以下，"水道指針"と略す）に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条 [解説]、及び、29、33、38条
1.5 外圧に対して，管本体はどの程度たわむのか。	環片圧（扁平性）試験	（該当する規定はない）	（該当する検討事項はない）	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	「23℃で管の外径が1/2になるまで圧縮し，割れ及びひびがあってはならない」と規定[g]。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	管の扁平性能（たわみ強さ）を確認するための試験であり，JIS 6741に規定されている。従って，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第18条 [解説]、及び、29、33、38条
1.6 クリープに関する特性はどの程度なのか。	クリープ試験	（同上）	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	ISO規格への対応性能（付属書）として，「熱間内圧クリープ性」が記述されている[h]。	クリープ試験結果から求めた設計応力は，引張応力が10.8MPa，曲げ応力が19.6MPa[i]。	同上	過去の研究で，JIS K 6741規格品は，最小要求強さ（MRS)（20℃で50年間，管が破壊しない一定応力値）が25.0MPaであることが確認されている[j]。従って，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6741付属書に規定される熱間内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	協会では，JIS K 6741規格品の最小要求強さ（MRS）（ISO/TR9080によって測定される長期静水圧強度の信頼下限値（LCL）をもとにISO 12162に従って求められる）が，ISO 4422と同等であることを確認している[j]。 基準案⇒ 第14条 [解説]
1.7 充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向水密限界試験	（同上）	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	ゴム輪接合の場合，管路の伸縮はゴム輪受け口部で吸収されるため管自体に引張力は作用しない。	

(a),(c) ； 塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　2.塩ビ管の諸性能（P49）
(b) ； JIS K 6741　5.性能　及び　9.3 引張試験
(d) ； JIS K 6741　5.性能　及び　9.4 耐圧試験
(e) ； 農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」(平成10年3月)　9.1.3 荷重に対する安全性の検討　(2) 許容たわみ量と設計たわみ量（P257)
(f) ； 日本水道協会　水道施設設計指針(平成12年3月)　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　3.硬質塩化ビニル管管厚計算式　2) 外圧と撓み、発生応力（P462)
(g) ； JIS K 6741　5.性能　及び　9.5 引張試験
(h) ； JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.2 熱間内圧クリープ試験
(i) ； 塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　3.塩ビ管の管厚設計[解説](2)設計応力(P52,53)　、「水道指針」　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　3.硬質塩化ビニル管管厚計算式　1) 内圧と管厚(P459) 及び 2) 外圧と撓み、発生応力（P462)
(j) ； 塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　3.塩ビ管の管厚設計[解説](2)設計応力(P52,53)

表Ⅱ-1.2　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注；　”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			硬質塩化ビニル管（PVC-U）				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6741 (1999)	協会規格(*3)資料(*4)	ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	水圧管路への適用における評価・対応	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	(該当する規定はない)	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	「接合した状態で，常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定[k]。	JIS基準に準拠することが基本 農業用塩ビ管の性能として，「接合した状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定[l]。	JIS基準に準拠することが基本	内圧強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(該当する規定はない)	ISO規格への対応性能（付属書）として，「挿口部5%偏平状況で，0～0.05MPaの内水圧で異常があってはならない」と記述されている[m]。	「接合部の挿管を5%偏平させた状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定[n]。	協会規格（性能）に準拠することが基本	外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの水密性を確保するため，必要に応じて、協会規格（AS 25）に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	ISO規格への対応性能（付属書）として，「接合部を自由角+強制角(2°)に曲げ，0～0.05MPaの内水圧で異常があってはならない」と記述されている[o]。	「接合部を3°曲げた状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定[p]。	同上	基本的に，継手を曲げた状態で管を付設することはないが，可とう性継手としての性能を確保するため，協会規格(AS 25)に適合することを確認する。 なお，規格異形管にない小角度の曲線設置を直管の可とう継手部で行う場合には，継手の許容曲げ角度における水密性を確認する(AS 25に準拠すれば3度の曲げ角までは直線と同等の水密性を確保できる)[p]。	基準案⇒ 第24条、39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	(該当する検討事項はない)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	ゴム輪接合では，離脱防止金具等の抜け出し防止を施した状態で，常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点がない[q]。	基本的に問題はないが，継手部に引張力が作用しないように設計する。 なお，スラスト力が発生する部分などに離脱防止器具等を用いる場合は，その強度等を適時確認する。	[基本的に設計で対応する]
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	ゴム輪継手が基本となるため，継手効率を考慮する必要はない。	基準案⇒ 第13条
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部の疲労(繰返荷重)はゴムによって吸収されるため，基本的に問題はない。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は本体と同じ素材または合成樹脂製が主体であるため，紫外線にさらされないように配慮しなければならない。 ゴム輪については，JIS K 6741においてJIS K 6353に準じた材料の使用が規程されている[r]ため，JIS K 6741及びJIS K 6353に適合することを確認する。なお，ゴム輪自体についてもオゾンや紫外線によって劣化するため，適切な対応が必要となる。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第8条、22条、24条

(k)　；　JIS K 6741　5.性能　及び　9.9 接合部耐圧試験
(l)　；　塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.1 直線水圧試験
(m)　；　JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.6.4 接合部扁平水圧試験
(n)　；　塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.2 扁平水圧試験
(o)　；　JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.6.5 接合部曲げ水圧試験
(p)　；　塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.3 曲げ水圧試験
(q)　；　日本水道協会規格 JWWA K127～K131 :2000 解説
(r)　；　JIS K 6741　8.2.ゴム輪の材料

表Ⅱ-1.2　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP（M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注；　”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350 (1991)	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） JIS K 6741 (1999)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 協会規格(*3)資料(*4)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
3　疲労特性	(確認方法等)								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧 疲労試験	(該当する規定はない)	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	外圧疲労については，浅層埋設に対応した自動車荷重繰返試験(s)で問題なし。 内圧疲労については，試験方法の規格（AS T52：硬質塩化ビニル管継手の脈動水圧疲労試験方法）を制定しているが，性能は規定していない。	協会規格（性能）に準拠することが基本	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。また，(財)道路保全技術センターで実施された埋設管の疲労限界状態の照査結果（埋設管の50年間相当輪荷重による累積疲労に対して問題ない）(s)や，メーカーによる脈動水圧疲労試験（0.4⇔2.0MPaの水圧負荷変動10^6回繰返しで問題なし）(t)から判断して，疲労に対しての安全性は問題ないものと考えられる。 なお，必要に応じて，AS T52に規定される脈動水圧疲労試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	
3.2 管（供試片)の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式 疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	
4　耐衝撃性	(確認方法等)								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	(該当する規定はない)	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	(該当する規定はない)	ISO規格への対応性能（付属書）として，「20℃における衝撃率（TIR）が10%未満」と記述されている(u)。	鉄球落下試験を実施。他の管種に比べて対応性が高いことを確認(v)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。 なお，必要に応じて，JIS K 6741付属書に規定される外衝撃耐久試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷 時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー 衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	メーカーのＪＩＳ K 6741適合品の一般的性質として、シャルピー衝撃値を明示(w)。	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	(確認方法等)								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	(該当する規定はない)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	(該当する規定はない)	耐摩耗試験装置を用いた試験により，HP管，厚陶管に比べて耐摩耗性が大きいことを確認(x)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」にて塩ビ管の耐磨耗性に関する記述より，塩ビ管の対磨耗性はヒューム管や陶管に比べて高いことが確認される(x)。また，広島大学による各種管材の耐摩耗性に関する試験結果(y)では，塩ビ管の対磨耗性がFRPより優れ，鋳鉄管と同程度であることが報告されている。さらに，農林基準や水道指針においては磨耗に関する規定がない。 従って，塩ビ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，協会資料に対応した試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2 同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(該当する規定はない)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3 同上	実流管路による耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(s) ； (財）道路保全技術センター　「道路占用埋設物件の浅層化技術検討　報告書」 平成10年11月　Ⅱ浅層化による埋設管路に及ぼす影響　2.疲労限界状態の照査、及び、塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　参考資料　3.4　浅層埋設における実験結果
(t) ； Ｓ社　JIS K 6742及びJwwa AS22規格品　製品説明書　3.15 管と継手の脈動水圧疲労試験　(P22)
(u) ； JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.4 衝撃試験
(v) ； J塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　10.3 落錘試験(P97)
(w) ； M社、K社(JIS K 6741規格品) 基本物性
(x) ； 塩化ビニル管・継手協会　下水道用硬質塩化ビニル管技術資料　4.4 耐摩耗性（P19)
(y) ； (財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　付属資料4,5（広島大学報告書　ポリエチレン管の耐摩耗性⇒塩ビ管についても比較検討）

表Ⅱ-1.2　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

[注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350 (1991)	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） JIS K 6741 (1999)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 協会規格(*3)資料(*4)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
6　耐候性	(確認方法等)								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	（該当する規定はない）	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験結果のﾃﾞｰﾀあり(z)。埋設とすれば現実的に問題とならないが，露出形式では直射日光による管の劣化を防ぐため保温工などの防護処置を行うことが基本となる。	屋外で使用した場合，紫外線による劣化により，長期的には管が割れる可能性がある。また，農林基準や水道指針では埋設を前提としている。 従って，埋設を基本とし，屋外で使用する場合は何らかの紫外線対策を施す必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
6.2 同上	暴露試験	(同上)	①3年の暴露試験で強度変化なし	（該当する規定はない）	(同上)	屋外暴露試験結果のﾃﾞｰﾀあり(aa)。埋設とすれば現実的に問題とならないが，露出形式では直射日光による管の劣化を防ぐため保温工などの防護処置を行うことが基本となる。	協会規格（性能）に準拠することが基本		
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	(同上)	（該当する検討事項はない）	火山地帯で見られる酸性水，コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	「各試験液とも質量変化度は±0.20mg/cm²」と規定(ab)	塩ビはプラスチックの中でも高い耐薬品性を有する(ac)。通常の水輸送であれば現実的に問題とならない。	同上	既往資料（複数のメーカーの技術資料）により，酸・アルカリ性の薬品が使用可能なことが明確にされている(ad)。従って，簡易発電システムで対象とする一般的な設備の範囲では問題ないものと考えられる。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品の流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　温度特性	(確認方法等)								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	（該当する規定はない）	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	塩ビ管の第2次(ガラス)転移点は-5～5℃とされ，この時点ではセグメントが凍結状態になって伸びが低下する(ae)。そのため，薄肉のVU管では耐衝撃性が低下する。従って，寒冷地においては埋設を基本とする必要がある。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	(同上)	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	(同上)	「ビカット軟化温度76℃以上」と規定（試験方法：ISO 2507-1及びISO 2507-2）(af)	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	塩ビ管の第1次(軟化)転移点（ビカット軟化温度)は76～80℃とされ，この時点ではセグメントが熱振動し軟化が目立つことになる。JISに準拠した製品であればその高温特性は守られているものとみなせるので，通常温度（45℃以下）で使用するとともに，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	JIS K 6741の対応国際規格の一つであるISO 4422では，45℃までの水輸送に使用する管，継手を規定。ただし，温度による最高使用圧力の低減係数が定められている。 [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐燃性試験	(同上)	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	塩ビの特性として，自己消火性があるため，火種が継続して作用しない限り，着火したとしても自然に消える(ag)。また，農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については基本的に問題がない。	[基本的に設計で対応する]

(z)　；　S社　JIS K 6742及びJwwa AS22規格品　製品説明書　3.13 耐候性試験　(P19)
(aa)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　10.4 耐候性(P99)
(ab)　；　JIS K 6741　5.性能　及び　9.6 耐薬品性試験
(ac)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　注意事項(P51)
(ad)　；　S社、M社、K社(JIS K 6741規格品）耐薬品性
(ae)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　(2)温度による状態変化と加工温度(P50)
(af)　；　JIS K 6741　5.性能　及び　9.7 ビカット軟化温度試験
(ag)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅰ序章　1 用語 31.耐燃性(P5)

表Ⅱ-1.2　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

管材料 / 要求性能等	FRPM管			硬質塩化ビニル管（PVC-U）				備　考
	JIS A 5350 (1991)	技術検討書 [*1]	技術基準 [*2]	JIS K 6741 (1999)	協会規格[*3]資料[*4]	ﾒｰｶｰその他の資料[*5]	水圧管路への適用における評価・対応	
8　物理定数								
8.1 弾性係数	（該当する規定値はない）	①設計に用いる諸数値として明記。	（数値の明記はない）	（該当する規定はない）	物性値として，「引張弾性率3350MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113，15℃） [ah]	管の諸性能として規定[ai]	協会資料等に規定される値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比	（同上）	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	（同上）	（同上）	物性値として，「ポアソン比0.38」と記載（試験方法：JIS K 7161，15℃） [ah]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）	（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「比重1.43」と記載（試験方法：JIS K 7112，水中置換） [ah]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数	（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「線膨張率6～7×10-5℃-1」と記載（試験方法：JIS K 7197） [ah]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は内外面が滑らかで使用上師匠となる傷・われなどの欠点がないこと，形状は実用的にまっすぐで，かつ，正円とみなせ，両端面は管軸に対して直角であること，を目視によって確認する [aj] 。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	JIS K 6741に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		（同上）	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，マイクロメータ(JIS B 7502)，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する [ak] 。	（同上）	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注者の仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている[al]。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	（同上）	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	（同上）	（同上）		充水試験と同様に，基本的には発注者の仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている[am]。	基準案⇒ 第61条

(ah) ； 塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　(P49)
(ai) ； S社、M社、K社(JIS K 6741規格品)　基本物性
(aj) ； JIS K 6741　6.1 外観、10.検査 a)形式検査 1) 外観検査
(ak) ； JIS K 6741　9.2 寸法、10.検査 a)形式検査 3) 寸法検査
(al) ； [農林基準」　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　(P445)
(am) ； [農林基準」　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　(P447)

表Ⅱ-1.3　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	(確認方法等)								
1.1 管（供試片)の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	(該当する規定はない)	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2 管（供試片)の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	(同上)	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	コンパウンド（顆粒状の原材料）の引張降伏強度として，PE50で9.2MPa以上，PE80で18.7MPa以上と規定(a)。 また，管体の試験方法(JIS K 6815)を規定(b)。 材料規定に移行する前の旧規定では，引張降伏強度を1種管（PE50）で9.8MPa以上，2種管（PE80,100）で19.6MPa以上と規定していた(c)。	JIS K 7161により，引張降伏強さ20MPa,引張破断強さ38MPa，と規定(d)。	引張降伏強さ20MP,引張破断強さ38MPa(e)	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において最も基本となる強度である。JISにおいては，管体の規定から材料の規定に移行しているため，現時点においては協会規格，メーカー規格（いずれも管体の規定）と記述が異なる。 ここで，農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」（以下，"農林基準"と略す）では、JIS6761に準じた製品であることを前提に許容引張応力度を設定している(f)。一方、日本水道協会　水道施設設計指針（以下，"水道指針"と略す）では，長期性水圧強度（PE100の材料使用を前提に10MPa）を引張強度としているが,許容曲げ応力の設定対してはJIS6761の引張降伏強度相当を基本に設定している(g)。 従って，両基準（指針）に準じ，JIS6761に準じた引張強度を確保することを基本とし，採用にあたってはJIS K 6761に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6815に規定される引張試験の実施を要求する。	PE50;50年後の最終要求強度が5.0MPa，PE80;同8.0MPa 基準案⇒ 第14条
1.3 管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験 (耐圧試験)	内圧（0.5～2.6Mpa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	（該当する規定はない） 材料規定に移行する前の旧規定では，管厚・基本強度に応じた試験内圧を設定し,その内圧に対して漏れや異常がないことを確認することとなっていた(h)。	耐圧試験2.5MPで，漏れ，変形，破損，その他欠点がないことを確認する (d) 。	協会規格（性能）に準拠することが基本	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。水道協会規格に準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会規格に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会規格に準じた内圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第3条［解説］(7)
1.4 外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ 外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	(該当する規定はない)	EF接合部の近傍の管を外径の50%へん平したあと，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れ・その他件点がない(i)。	同上	1.5の扁平性が協会規格で規定されており，協会規格に準拠した製品であればその扁平性能（外圧に対する抵抗性）は確保されているものとみなせるので，協会規格に適合することを確認する。 なお，農林基準や水道指針に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.5 外圧に対してどの程度たわむのか。	環片圧 （扁平性）試験	(該当する規定はない)	(該当する検討事項はない)	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	(同上)	同上	同上	同上	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.6 クリープに関する特性はどの程度か。	クリープ試験	(同上)	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	熱間内圧クリープ試験(ISO 1167)で所定時間内に割れ，その他欠点なし(j)。	同左	同左	JIS K 6761は最小要求強さ（MRS）（20℃で50年間，管が破壊しない一定応力値）を基本とした規定であり，JIS K 6741に準拠していればクリープ特性を含んだ強度を確保できる。従って，JIS K 6761に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6761に規定される内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第14条［解説］

(a) ； JIS K 6761　4.材料　4.3 性能　6.3 引張試験　a) コンパウンド
(b) ； JIS K 6761　6.3 引張試験　b) 管
(c) ； JIS K 6761；1998　5 性能　9.3 引張試験
(d) ； 日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　2.3.1 水道配水用ポリエチレン管　表2.3.1性能　(P15)
(e) ； M社、K社 基本物性
(f) ； 農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」(平成10年3月)　9.4.4 とう性管の管種選定　(3)内圧から求める管厚計算式　ｂ.硬質塩化ビニル管およびポリエチレン管（P288)
(g) ； 日本水道協会　水道施設設計指針(平成12年3月)　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　4.水道配水用ポリエチレン管管厚計算式（P462)
(h) ； JIS K 6761；1998　5 性能　9.4 耐圧試験
(i) ； 日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.2 へん平水圧試験(P110)
(j) ； JIS K 6761　5.管　5.3 性能

表Ⅱ-1.3　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［注；"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。］

要求性能等	管材料	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	(確認方法等)								
1.7 充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向 水密限界試験	(同上)	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	協会規格として，水密状況ではないものの，管軸方向引張試験を実施し，降伏点のひずみが8～11%程度であることを確認(k)。また，軸方向圧縮試験を実施し，降伏点のひずみが約10%であることを確認(l)。 したがって，協会規格に準拠していれば一定の強度を確保しているものと考えられ，基本的には問題はない。ただし,特に管軸方向の強度について検討する場合には，この試験結果を参考とし，協会規格に準拠していることを確認するものとする。 なお，必要に応じて，協会規格に準じた試験の実施を要求する。	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	(該当する規定はない)	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	(該当する規定はない)	「EF融着した状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(m)。	協会規格に準拠することが基本 バット融着部を含む水圧試験の結果，水道基準の規格値を上回る耐圧性(水密性)を確認(n)。	内圧強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。 協会規格に準拠した製品であれば継手部の耐圧性及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(該当する規定はない)	(同上)	EF融着接合部の近傍を50%偏平させた状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(o)。	協会規格に準拠することが基本 バット融着部を含む引張試験，水圧試験，熱間クリープ試験の結果から，接続部（バット融着）が管本体と同等以上の機械的強度をもつことを確認(p)。	協会規格に準拠した製品であれば外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの水密性を確保できるとみなせるため，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	(同上)	EF融着接合部の管同士の迎角が45°になるように供試管を固定した状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(q)。	同上	管の許容曲げ半径を考慮した上で曲線状に付設する場合には，協会規格に適合することを確認する。 なお，管径に応じた許容曲げ半径を確認するとともに，必要に応じて，各管径に応じた設定角度における曲げ水圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第24条，39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	(該当する検討事項はない)	(同上)	(同上)	EF融着接合部の強度を確認するため，降伏点に達するまで引張った結果，接合部より先に管本体が降伏することを確認。接合部の強度が管本体以上であることを確認(r)。	同上	1.7に記述するとおり,基本的には問題はない。ただし,特に継手部に引張力が作用する場合は，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	許容応力の算定に際し，ジョイントファクターとして，短期荷重に対して0.9，長期荷重に対して0.8を考慮(s)。	『農林基準』や『水道指針』では継手効率を規定していない。 一方，メーカーとしては，安全率を考慮する要因ごとに各種の効率を設定して安全率を積み上げている。 設計に際しては，事業者と協議した上で，安全率（継手効率）の設定方法を確認する必要がある。	基準案⇒ 第13条，18条 [基本的に設計で対応する]
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	接合部を含む供試管を浅層埋設し，0～10tの繰返荷重を150万回載荷した結果から，繰返し荷重によって生じる50年後の残留ひずみは許容ひずみに比べて小さいことを確認(t)。	協会規格に準拠することが基本	基本的には問題はない。特に，管本体及び継手部に繰返し荷重が作用する場合は，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条

(k)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.1 管軸方向引張試験(P119)
(l)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.2 管軸方向圧縮試験(P120)
(m)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　2.3.2 水道配水用ポリエチレン管継手　表2.3.4性能　(P18)
(n)　；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　4.6 接続部の信頼性に関する照明　(2) 水圧試験　(P35)
(o)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.2 へん平試験(P110)
(p)　；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　4.6 接続部の信頼性に関する照明　(P33～39)
(q)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.3 曲げ水圧試験(P111)
(r)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.1 引張試験(P109)
(s)　；M社　技術資料
(t)　；(財)道路保全技術センター　「道路占用埋設物件の浅層化技術検討　報告書」　平成10年11月　Ⅱ浅層化による埋設管路に及ぼす影響　2.疲労限界状態の照査

表Ⅱ-1.3　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［注；"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350 (1991)	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	ポリエチレン管 JIS K 6761(2004)	ポリエチレン管 協会規格(*3)	ポリエチレン管 メーカー基準(*4)	ポリエチレン管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
2　継手性能	(確認方法等)								
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は基本的に本体と同じ素材であるため，6.1, 6.2に準じた対応とする。	基準案⇒ 第8条，22条，24条
3　疲労特性	(確認方法等)								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧疲労試験	(該当する規定はない)	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	外圧疲労については，2.6に同じ。 内圧疲労については，管軸方向繰返試験（管軸方向の繰返し引張り応力の発生）によっても管体破壊などの異常がないことを確認(u)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。また，協会規格における浅層埋設繰返し試験や管軸方向繰返し引張試験の結果から判断して，疲労に対しての安全性は問題ないものと考えられる。	
3.2 管（供試片）の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	
4　耐衝撃性	(確認方法等)								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	(該当する規定はない)	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	落錘試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(v)。	落錘試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(w)。	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	(確認方法等)								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	(該当する規定はない)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	大学との共同研究の結果，ポリ管の耐摩耗性が鋼管やFRPより優れていることを確認(x)。	農林基準や水道指針においては磨耗に関する規定がない。 メーカーによる試験結果を見ても，ポリ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，促進摩耗試験等の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2　同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(該当する規定はない)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3　同上	実流管路による耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(u)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.3 管軸方向繰り返し伸縮試験(P121)
(v)　；日本水道協会　水道配水用ポリエチレン管・継手に関する調査報告書（平成10年9月）　2.5 c) 重錘で窪みをつけた管の耐圧性(P61)
(w)　；M社　A町上水施設向け衝撃試験　試験報告書
(x)　；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査証明（下水道技術）　報告書」　付属資料4,5 (広島大学報告書　ポリエチレン管の耐摩耗性)

表Ⅱ-1.3　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP（M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注；”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
6　耐候性	(確認方法等)								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	（該当する規定はない）	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	紫外線による劣化防止のため，カーボンブラックの濃度を2.0～2.5%に規定[y]。 直接的な試験に関する規定はない。	（該当する規定はない）	露出管については，カーボン濃度試験により評価。カーボン濃度を基準値内に制御。	露出管とする場合でも，カーボンブラックの濃度を適切に管理することで適用可能。従って,JISに準じていることを確認する。 しかし，農政基準や水道指針では埋設を前提としているため，屋外で使用する場合は何らかの紫外線対策を施す事が望ましい。	基準案⇒ 第22条
6.2　同上	暴露試験	（同上）	①3年の暴露試験で強度変化なし	（該当する規定はない）		（同上）			
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	（同上）	（該当する検討事項はない）	火山地帯で見られる酸性水，コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	（該当する規定はない）	酸やアルカリに強い材質であることが確認されている[z]。	同左[aa]	協会をはじめとした既往資料により，酸・アルカリ性の薬品が使用可能なことが明確にされている。従って，基本的に問題はない。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品の流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　温度特性	(確認方法等)								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	（該当する規定はない）	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	（該当する規定はない）	低温であっても異常がないことを確認[ab]。	凍結時の管破裂についても危険性が低いことを確認[ac]。	低温であっても特性が低下することはなく，凍結時の管破裂についても危険性は低い。したがって，寒冷地での採用についても管としては問題にならないが，凍結を防止するためには地中埋設などを検討する必要がある。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	（同上）	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	（同上）	（同上）	0～40℃での使用を前提としている[ad]。	協会基準に準じる	通常温度（40℃以下）での使用を基本とする。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐火性試験	（同上）	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	（同上）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については基本的に問題がない。	[基本的に設計で対応する]
8　物理定数									
8.1 弾性係数		（該当する規定値はない）	①設計に用いる諸数値として明記。	（数値の明記はない）	（該当する規定はない）	物性値として，「引張弾性率834MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113，20℃）[ae]	基本的に協会基準に準じる。	協会資料等に規定される値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比		（同上）	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	（同上）	（同上）	物性値として，「ポアソン比0.37」と記載（試験方法：JIS K 7161，15℃））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）		（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「比重0.95」と記載（試験方法：JIS K 7112，水中置換））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数		（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「線膨張率11×10-5℃-1」と記載（試験方法：JIS K 7197））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条

(y)　；JIS K 6761　4.材料　4.3 性能　及び　5.管　5.3 性能
(z)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　1.5 耐食性（耐薬品性）　(P9)
(aa)　；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書 4.2 耐薬品性に関する審査証明　(P15)
(ab)　；日本水道協会　水道配水用ポリエチレン管・継手に関する調査報告書（平成10年9月）　2.3 3) 低温時の施工性　表2.3.1　低温時における熱間内圧クリープ試験結果(P24)
(ac)　；M社　凍結試験報告書
(ad)　；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　3.2 使用範囲　(P63)
(ae)　；配水用ポリエチレン管協会　配水用ポリエチレン管技術資料　8-8 配水用ポリエチレン管の諸性能(P96)

表Ⅱ-1.3　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注；”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

管材料 要求性能等	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
	JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は内外面が滑らかで使用上師匠となる傷・われなどの欠点がないこと，形状は実用的にまっすぐで，かつ，正円とみなせ，両端面は管軸に対して直角であること，を目視によって確認する(af)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	JIS 6761に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		（同上）	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，マイクロメータ(JIS B 7502)，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する(af)。	（同上）	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている(ag)。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	（同上）	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	（同上）	（同上）		充水試験と同様に，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている(ah)。	基準案⇒ 第61条

(af) ；JIS K 6761　7.2 受渡し検査
(ag) ；[農林基準]　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　（P445）
(ah) ；[農林基準]　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　（P447）

表Ⅱ-1.4　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注；”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350 (1991)	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	耐圧ポリエチレンリブ管 JIS K 6780 (2003)	耐圧ポリエチレンリブ管 協会基準(*3)	耐圧ポリエチレンリブ管 メーカー基準(*4)	耐圧ポリエチレンリブ管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
1　材料特性	(確認方法等)								
1.1 管（供試片)の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	（該当する規定はない）	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2 管（供試片)の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	(同上)	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	JIS K 7161の引張降伏応力が27Mpa以上と規定[a]。	引張降伏応力が23Mpa以上と規定[b]。	協会基準に準拠することが基本	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。協会基準に準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，協会基準に適合することを確認する。	基準案⇒ 第14条
1.3 管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験 (耐圧試験)	内圧 (0.5～2.6Mpa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	（該当する規定はない）	4K管（設計水圧0.4MPa）に対し，0.8MPaの内圧負荷で漏水がないこと，5K管（設計水圧1.0MPa）に対し，0.5MPaの内圧負荷で漏水がないこと、を確認[b]。	ゴム輪継手部を含む試験結果として，0.2MPa ($2kgf/cm^2$) の内圧負荷で3分間放置し、欠陥、破損、その他欠点が無いことを確認[c]。 また，ＥＦ継手部に対する管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認[d]。	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。協会基準に準拠した製品であれば一定の強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会基準に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会基準に準じた継手部耐圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第3条［解説］(7)
1.4 外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ 外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	たわみ試験（管軸垂直方向載荷試験）において，5% 相当のたわみに対応するたわみ荷重が基準値以上であることを確認する[e]。	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	1.5の扁平性とともにJIS規格で規定されており，JIS規格に準拠した製品であればその外圧に対する抵抗性は確保されているものとみなせるので，JIS規格に適合することを確認する。 なお，農林基準や日本水道協会　水道施設設計指針（以下，"水道指針"と略す）に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.5 外圧に対して，管本体はどの程度たわむのか。	環片圧 （扁平性）試験	（該当する規定はない）	（該当する検討事項はない）	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	管軸方向扁平試験において，呼び径の50%まで圧縮（扁平）させ，圧縮降伏応力に達しないことを確認する[f]。	同上	同上	同上	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.6 クリープに関する特性はどの程度なのか。	クリープ試験	(同上)	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	JIS K 6780に準拠した管に対し，ISO9080にて規定される外挿法（熱間内圧クリープ試験）により50年後の強度9.69MPaを計算[g]。	メーカーの試験結果から，協会基準に準拠する製品のクリープ特性を含んだ強度が確認できる。従って，クリープ特性を考慮した検討を行う際には,メーカーの基準に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS，ISO等で規定される熱間内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第14条［解説］
1.7 充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向 水密限界試験	(同上)	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	（該当する規定はない）	（同上）	（同上）	（該当する規定はない）	ゴム輪継手の場合、管路の伸縮はゴム輪受け口部で吸収されるため管に引張力は作用しない。 融着(溶接)継手の場合は，継手部引張試験（継手部軸方向任意切出し供試片による試験）結果(h)から，管本体に比べて継手部の強度が高いことが確認されている。したがって，1.2に示す引張試験の結果から引張降伏強度23MPa以上が期待され，水圧作用を考慮しても特に問題はないものと考えられる。 なお，特定の引張応力が作用する場合は，別途強度を確認するための試験の実施を要求する。	

(a)　；JIS K 6780　5 性能　10.1 引張試験
(b)　；高耐圧ポリエチレン管協会　内圧用高耐圧ポリエチレン管　製品概要書　3-7.性能　(P8)
(c)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部水密試験
(d)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　管内空気圧試験
(e)　；JIS K 6780　5 性能　10.2 たわみ試験
(f)　；JIS K 6780　5 性能　10.3 偏平試験
(g)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　熱間内圧クリープ試験
(h)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　継手部断面引張試験

表Ⅱ-1.4　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6780 (2003)	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	(該当する規定はない)	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	(該当する規定はない)	融着(溶接)継手の4K管（設計水圧0.4MPa）に対し，0.8MPaの内圧負荷で漏水がないこと，5K管（設計水圧0.5MPa）に対し，1.0MPaの内圧負荷で漏水がないこと、を確認(i)。	ゴム輪継手部を含む試験結果として，0.2MPa (2kgf/cm2) の内圧負荷で3分間放置し、欠陥、破損、その他欠点が無いことを確認(j)。 また，ＥＦ継手部に対する管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認(k)。 さらに，継手部断面引張試験の結果から，継手部の強度が本管以上であることを確認(l)。	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。 メーカー基準に準拠した製品であれば継手部の強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，メーカー基準に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会基準に準じた継手部耐圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(該当する規定はない)	(同上)	(該当する規定はない)	ゴム輪継手部の挿口部近傍を5%偏平させた状態で，水圧0.2MPaを加え，3分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(m)。 また，ＥＦ継手部に対する扁平後管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認(n)。	メーカー基準に準拠した製品であれば，外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，メーカー基準に準拠していることを確認する。 なお，水密性については農林基準に準じて施工時に確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手部の角度が3度となるように継手した状態で，水圧0.2MPaを加え，3分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認（j）。	基本的に，継手を曲げた状態で管を付設することはないが，可とう性継手としての性能を確保するため，メーカー基準に適合することを確認する。 なお，規格異形管にない小角度の曲線設置を直管の可とう継手部で行う場合には，継手の許容曲げ角度を確認する。 ＥＦ継手の場合，継手部強度等は本管部以上となるが，曲線配置を計画する場合は許容曲げ半径を確認する。	基準案⇒ 第24条，39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	(該当する検討事項はない)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	1.7に同じ	基準案⇒ 第24条
2.5 溶接・融着とする場合，継手部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手の場合は基本的に継手効率を考えなくて良い。 『農林基準』や『水道指針』でも継手効率を規定していない。 融着(溶接)継手の設計に際しては，事業者と協議した上で，安全率（継手効率）の設定方法を確認する必要がある。	基準案⇒ 第13条，18条 [融着(溶接)継手に関しては設計で対応]
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手の場合、継手部の疲労（繰返荷重）はゴムによって吸収されるものと考えられる。 融着(溶接)継手の場合は，管本体に比べて継手部の強度が高いことが確認されている。したがって，疲労についても本管と同程度以上の機能・性能が確保されるものと考えられる。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は基本的に本体と同じ素材であるため，6.1及び6.2に準じた対応とする。 ゴム輪継手の場合は，ゴム輪についてJIS K 6741においてJIS K 6353に準じた材料の使用が規程されているため，JIS K 6741及びJIS K 6353に適合することを確認する。なお，ゴム輪自体についてもオゾンや紫外線によって劣化するため，適切な対応が必要となる。	基準案⇒ 第8，22条，24条

(i) ; 高耐圧ポリエチレン管協会　内圧用高耐圧ポリエチレン管　製品概要書　3-7.性能　（P8）
(j) ; D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部水密試験
(k) ; D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　管内空気圧試験
(l) ; D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　継手部断面引張試験
(m) ; D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部扁平水密試験
(n) ; D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　扁平後管内空気圧試験

表Ⅱ-1.4　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6780 (2003)	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
3　疲労特性	(確認方法等)								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧 疲労試験	(該当する規定はない)	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	供試片に対する疲労試験（シャンク式疲労試験）結果では，10^{7}回の繰返荷重に耐えうる応力（14MPa）を確認（o）。	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。 また，(財)道路保全技術センターにおける浅層埋設繰返し試験(p)では，塩ビ管やポリエチレン管について試験が行われ，疲労に対しての安全性は問題ないものと評価された。従って,リブ管についても基本的には問題ないものと考えられる。 なお，特定の繰返応力が作用する場合は，メーカーによる試験結果を参考に設計するか，別途強度を確認するための試験の実施を要求する。	
3.2 管（供試片)の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式 疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	
4　耐衝撃性	(確認方法等)								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	(該当する規定はない)	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	落石（落錘）試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(p)。	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷 時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー 衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	(確認方法等)								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	(該当する規定はない)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	砂混入水による長時間循環試験により管の摩耗量を測定。塩ビ管と同程度の耐摩耗性であることを確認(q)。	農政基準や水道指針においては,摩耗に関する規定がない。 メーカーによる試験結果を考慮しても，リブ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，促進摩耗試験等の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2　同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(該当する規定はない)	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3　同上	実流管路による 耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(o) ；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　疲労試験
(p) ；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　耐衝撃試験
(q) ；(財) 土木研究センター　「D社　高耐圧ポリエチレン管」 技術審査証明報告書　3.2 耐摩耗性

表Ⅱ-1.4　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

[注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書[*1]	技術基準[*2]	JIS K 6780 (2003)	協会基準[*3]	メーカー基準[*4]	水圧管路への適用における評価・対応	
6　耐候性	(確認方法等)								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	（該当する規定はない）	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	耐候性試験（屋外暴露試験またはウェザー・メーター試験）により，引張破断伸びが350%以上[r]。	JIS規格に準拠することが基本。	JIS規格に準拠することが基本。 使用材料にカーボンブラックが添加されていて,紫外線による劣化を防ぐ[s]。	一般的には埋設とするため問題はない。ただし，露出配管を考えた場合は,JIS規格に準じることを基本とし，カーボンブラックを添加する。その濃度（混入量）については，ポリエチレン管に対する値（JIS K 6761)を基本とする。	**問題なし**
6.2 同上	暴露試験	(同上)	①3年の暴露試験で強度変化なし	（該当する規定はない）					**問題なし**
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	(同上)	（該当する検討事項はない）	火山地帯で見られる酸性水,コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	耐薬品性試験により，各試検液とも質量変化度は±$0.2mg/cm^2$ [t]	(同上)	JIS規格に準拠することが基本。 酸やアルカリに強い材質であることが確認されている[u]。	リブ管は高密度ポリエチレン樹脂を原材料としているため，一般的に耐薬品性に優れている。また，JIS規格に準じていれば，一定の耐薬品性が確保されている。従って,基本的に問題はない。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品が流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　温度特性	(確認方法等)								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	（該当する規定はない）	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	高密度ポリエチレンのガラス転移点は-20℃，脆化温度は-50℃であり，一般的に寒冷地においても問題を生じることはない。しかし，凍結を防止するため，寒冷地では埋設を基本とする。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	(同上)	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	常温での使用を前提としている。	高密度ポリエチレンの融点は110～140℃とされ，この温度以上で結晶はなくなり、溶融状態となる。使用環境温度は一般的には40～60℃以下の温度であれば問題ない。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐火性試験	(同上)	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。	（該当する規定はない）	(同上)	(同上)	(同上)	農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については問題がない。	[基本的に設計で対応する]
8　物理定数									
8.1 弾性係数		（該当する規定値はない）	①設計に用いる諸数値として明記。	（数値の明記はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	物性値として，「引張弾性率1，274～1,666MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113, 15℃）[v]	メーカー基準値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比		(同上)	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「ポアソン比0.3～0.48」と記載（試験方法：JIS K 7161，15℃）[v]	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）		(同上)	同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「密度0.95～0.97」と記載（試験方法：JIS K 6760）[v]	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数		(同上)	同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「線膨張率11～13×10-5℃-1」と記載（試験方法：ASTM D696）[v]	同上	基準案⇒ 第14条

(r) ； JIS K 6780　5 性能　10.7 耐候性試験
(s) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　1.特性
(t) ； JIS K 6780　5 性能　10.6 耐薬品性試験
(u) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　4.耐薬品性
(v) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　3.材料特性

表Ⅱ-1.4　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

[注；"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

管材料 / 要求性能等	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
	JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6780 (2003)	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会基準に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は使用上有害な傷・われなどの欠点がなく，内面が滑らかであること，形状は内側断面が実用的に正円であること，を目視によって確認する(w)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS 6780に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会基準に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する(w)。	(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている(x)。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	(同上)	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	(同上)	(同上)		充水試験と同様に，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている(y)。	基準案⇒ 第61条

(w)　；JIS K 6780　7 形状及び寸法，8 外観
(x)　；[農林基準]　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　（P445）
(y)　；[農林基準]　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　（P447）

表Ⅱ-1.5　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（プレストレストコンクリート管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：PC管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			プレストレストコンクリート管（PC管）				備　考
		JIS A 5350 (1991)	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS A 5373 (2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	(該当する規定はない)	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	内圧強度試験（1種管で1.8MPaの試験内圧を付加）において漏水がない(a)。	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	継手部耐圧性能に関しては，製品の内圧試験と同時にＪＩＳ規定値（内圧）を満足していることを確認している。従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(該当する規定はない)	規定のひび割れ荷重を加えたときに，ひび割れが発生しない(b)。	(同上)	(同上)	ＰＣ管は剛性管（不撓性管）であるため，実用上撓みは考慮せず，性能規定としての外圧強度が確保されれば良い。 従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	管種・管径毎の最大曲げ角度を提示(c)	メーカーで実施したJIS規格管に対する試験データ(d)が公開されているが，水圧作用下での偏心載荷，曲げに対して規格上十分の性能がある。従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条、39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	(該当する検討事項はない)	(同上)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	通常のゴム輪継手では，管軸方向の引張力を考慮しないため，継手部の引張強度が問題となることはない。 なお，継手の中心保持性を高める目的で装着する押輪継手は，継手部の引抜き抵抗も増大させる。その効果は，押輪継手を装着させない場合に比べて2.5～3.5倍程度になる。	[基本的に設計で対応する]
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	通常のゴム輪継手では，継ぎ手効率が問題となることはない。	基準案⇒ 第13条
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部の疲労(繰返荷重)はゴムによって吸収されるため，基本的に問題はない。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	PC管自体は問題ない。ゴム輪についてはJIS K6353に規定する水道用ゴムの圧力管仕様に拠っているが，露出配管の場合はオゾンクラック等のゴム劣化を防ぐため，継手部の充填処理などを考慮する。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第8条、22条、24条

(a)　；JIS A 5373　5.性能　5.2 性能　及び　付属書4 3.1内圧強度 6.1 内圧強度試験
(b)　；JIS A 5373　5.性能　5.2 性能　及び　付属書4 3.2外圧強度 6.2 外圧強度試験
(c)　；M社　製品説明書　6継手の抜出し量と曲げ角度（Ｐ19）
(d)　；M社　継手曲げ試験結果

１．２　一般市販管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

表Ⅱ-1.2～5 によって，一般市販管を簡易発電システムの水圧管路に適用するための基本性能が再整理された。この表によって，一般市販管を水圧管路として適用するに当たり要求される項目を，管の基本性能として満足する部分（評価）と，設計（計画）で対応する部分（対応）に区分することができた。

この結果をもとに，要求性能を確認した規格・基準等と評価または対応の内容を抽出した。そのうえで，抽出した各基準がその他の基準とどのような関係になっているかを整理し，さらに，設計（計画）での対応方法や基本的に問題とならない項目などを整理して，最終的に各管を水力発電所の水圧管路として採用する際の準拠基準を絞り込んだ。その検討内容を表Ⅱ-1.6～9 に示す。

以上の検討から，各管を水力発電所の水圧管路として採用する際には，一般的に以下の基準に準拠していることを確認すればよいと考えられる。

1) 塩ビ管　⇒　JIS K 6741 (1999)
2) ポリ管　⇒　日本水道協会の基準
3) リブ管　⇒　高耐圧ポリエチレン管協会の基準
4) PC 管　⇒　JIS A 5373 (2004)

なお，その規模や重要度が大きい場合や,問題が発生した場合に影響が大きくなる場合などには,必要な要求性能に応じた強度･材料特性などを個別に確認しなければならない。

表Ⅱ-1.6　塩ビ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	水道用塩ビ管規定値	水道協会基準に準拠	
1.2	引張強度	JIS K 6741	JISに準拠	
1.3	内圧強度	JIS K 6741	JISに準拠	
1.4,1.5	扁平性	JIS K 6741	JISに準拠	
1.6	クリープ特性	JIS K 6741	JISに準拠	
1.7	軸方向強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	JIS K 6741	JISに準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	農業用塩ビ管	農業用塩ビ管の基準に準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	農業用塩ビ管	農業用塩ビ管の基準に準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.5	継手効率	-----	問題なし	接着継手は対象外
2.6	継手部疲労強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で振動(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.7	継手部耐候性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	JIS K 6741	JISに準拠	通常温度(45℃程度）以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	水道用塩ビ管規定値	水道協会基準に準拠	
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6741	JISに準拠	
10. 据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

⇩

① 水道用塩ビ管は、大きさ（呼び径）が異なるが、品質・機能としては基本的にJIS K 6741に同等。
⇒　JIS規格品であれば，上表中の水道用塩ビ管の品質・機能を確保している。
② 農業用塩ビ管は、品質・機能ともにJIS K 6741に同等。
⇒　JIS規格品であれば，上表中の農業用塩ビ管の品質・機能を確保している。
③ 下水道用塩ビ管は、継手の水密性が若干異なるが，管自体の品質・機能は基本的にJIS K 6741に同等。
⇒　JIS規格品であれば，上表中の下水道用塩ビ管の品質・機能を確保している。

⇩

◎ 耐衝撃性、耐候性（紫外線）、温度特性（低温、耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 据え付け後検査については、FRPM機準じ準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、物理定数、形状検査などは、JIS K 6741に準拠すれば問題ない

⇩

[結論]　JIS K 6741に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路として塩ビ管を用いることに問題はない。

表Ⅱ-1.7　ポリ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	-----	検討対象としない	
1.2	引張強度	JIS K 6761	JISに準拠	旧規格の試験強度は協会基準と同程度
1.3	内圧強度	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
1.4,1.5	扁平性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
1.6	クリープ特性	JIS K 6761	JISに準拠	水道協会基準とJISは試験条件がほぼ同じ
1.7	軸方向強度	-----	問題ない	
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題ない	
2.5	継手効率	-----	設計で対応	
2.6	継手部疲労強度	-----	問題ない	（参考）　水道用ポリ管試験結果
2.7	継手部耐候性	JIS K 6761	JISに準拠	JISではカーボン濃度を規定。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	（参考）　水道用ポリ管試験結果
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	（参考）　水道用ポリ管試験結果
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	（参考）　3.1の水道用ポリ管試験結果
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	（参考）　広島大学試験結果
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	JIS K 6761	JISに準拠	JISではカーボン濃度を規定。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	問題なし	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	-----	問題なし	通常温度(40℃程度）以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とし、露出する場合は適切に対応する。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6761	JISに準拠	
10. 据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

⇩

① JIS K 6761規格品の耐候性（カーボン濃度）以外の品質・機能は、水道協会規格品に準用されている。
⇒　水道協会規格品であれば，上表中のJISで規定されている品質・機能（耐候性を除く）を確保している。

⇩

◎ 耐衝撃性、温度特性（耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 露出配管とする場合の耐候性（紫外線）については，JIS K 6741の基準に準じたカーボン濃度であることを確認する。
◎ 据え付け後検査については、FRPMに準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、物理定数、形状検査などは、水道協会基準に準拠すれば問題ない

⇩

［結論］　水道協会基準に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてポリ管を用いることに問題はない。

表Ⅱ-1.8　リブ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	-----	検討対象としない	
1.2	引張強度	内圧用リブ管	高耐圧ポリエチレン協会基準に準拠	
1.3	内圧強度	内圧用リブ管	高耐圧ポリエチレン協会基準に準拠	
1.4,1.5	扁平性	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
1.6	クリープ特性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
1.7	軸方向強度	-----	問題ない	
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
2.2	継手部偏圧水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	同上
2.3	継手部曲げ水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	同上
2.4	継手部引張強度	-----	問題ない	
2.5	継手効率（ゴム輪）	-----	問題ない	
2.5	継手効率（EF継手）	-----	設計で対応	
2.6	継手部疲労強度	-----	問題ない	
2.7	継手部耐候性	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	同上
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	問題なし	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	-----	問題なし	通常温度(40℃程度) 以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とし、露出する場合は適切に対応する。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとする。
10. 据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

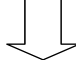
① JIS K 6780規格品の引張強度及び内圧強度以外の品質・機能は，内圧用リブ管に準用されている。
⇒　高耐圧ポリエチレン協会規格品（内圧リブ管）であれば，上表中のJISで規定されている品質・機能（張強度及び内圧強度を除く）を確保している。
② メーカー基準の品質・機能は，高耐圧ポリエチレン協会基準に準用されている。
⇒　高耐圧ポリエチレン協会規格品（内圧リブ管）であれば，上表中のメーカー基準品の品質・機能を確保している。

◎ 耐衝撃性、温度特性（耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 露出配管とする場合の耐候性（紫外線）については，JIS K 6741の基準に準じたカーボン濃度であることを確認する。
◎ 据え付け後検査については、FRPMに準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、耐候性、物理定数、形状検査などは、高耐圧ポリエチレン協会の基準に準拠すれば問題ない。

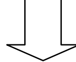
[結論]　高耐圧ポリエチレン管協会の基準に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてリブ管を用いることに問題はない。

表Ⅱ-1.9　PC管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収
2.5	継手効率	-----	問題なし	接着継手は対象外
2.6	継手部疲労強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で振動(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.7	継手部耐候性	-----	問題なし	埋設を基本とする。



◎ 継手性能については、JIS A 5373に準拠すれば問題ない



[結論]　JIS A 5373に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてPC管を用いることに問題はない。

１．３　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子の立案

以上の検討結果をもとに，一般市販管を広く使用している水道分野や農業分野などの計画・設計基準を参考に，既成の鉄管及び FRP(M)編技術基準と並行する形で一般市販管による水圧管路技術基準（案）の骨子を立案した。

来年度は，骨子をベースに協議・検討を実施し，最終的に「一般市販管による水圧管路技術基準(案)」として取りまとめる。

なお，現段階において考えられる,今後の整理・検討事項を表Ⅱ-1.10 にまとめた。

また，一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子を表Ⅱ-1.11 にまとめた。

表Ⅱ-1.10　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子に対する今後の整理・検討事項

項目		整理・検討事項
第2条 定義	1)	一般市販管の定義として，要求性能に対する検討結果を反映し，それぞれの管で根拠となるべき基準（塩ビ管はJIS，ポリ管は水道協会規格，リブ管は高耐圧ポリエチレン協会基準）に準拠する製品としたが，それぞれの管の整合性として問題がないか
	2)	PC管に対する取り扱いは適切か
	3)	解説の6に対応して，各管の特性や製造方法などを紹介する予定であるが，各管とも基本的に前期の定義に使った基準等に対応した製品について説明する。
	4)	**[基準案全体に対しての課題]** 農林基準や水道指針においては，塩ビ管やポリ管に対して埋設することを前提としている。 本条で解説する定義の部分で，埋設に絞ることはできないか。埋設に絞ることで,技術基準の条項が少なくなる。 しかし，砂防ダムや農業施設の落差工，その他施設の明かり部への適用に支障をきたす可能性がある。 ⇒　以上の事項を考慮すると，第３条で，①基本は埋設とすること，②露出とする場合は十分配慮すること，③岩盤埋設については対象外とすること，を明記したい。
第3条 計画・設計	5)	解説(3)について，露出とする場合の対応方法を簡潔に説明する必要がある。
	6)	解説(7)について，表3-1に記述した最大使用圧力は，その安全率の考え方によって変わるため，あくまでも目安であることを簡潔に説明する必要がある。
第4条 設計に用いる内圧	7)	解説のなかで，塩ビ管，ポリ管，リブ管の弾性係数（ヤング率）が小さいことから，鋼管等に比べて水撃圧が小さくなることを記述したが，FRP(M)では特に記述していないことに対し問題はないか。
第6条 損失水頭	8)	解説としてｎ(粗度係数)とC（流速係数）の併記でいいのか。どちらかに統一した方が混乱がないのではないか。
第9条 材料試験	9)	せん断についての試験（検討）が必要なのか。FRPの技術検討のときを含めて，せん断に関する評価・検討は実施していない。 また，農林基準や水道指針では，埋設を基本としていることもあり，せん断に関する評価検討は規定されていない。
	10)	解説2の試験の省略では,具体的に，”要求性能に対する検討結果を反映し,それぞれの管で根拠となるべき基準（塩ビ管はJIS，ポリ管は水道協会規格，リブ管は高耐圧ポリエチレン協会基準）に準拠することを確認すればよい”とすれば，事業者が対応しやすくなる。 しかし，ここ（第9条）で，そこまではっきり言い切ってしまっていいか。それとも，その辺の判断は事業者と設計者の協議事項とすべきか。
第11条 最小板厚及び余裕厚	11)	いずれも考慮しないものとした（確認）。 耐摩耗性に関する資料を解説で明示すべきか。参考文献の紹介のみでいいか。
第13条 継手効率	12)	ポリ管のメーカーでは，安全率の検討に対して継手における効率低下を考慮したファクターを設定している。しかし，このメーカーも基本的には事業者が指示する基準の考え方に準拠することになる。継手効率を含む安全率の考え方については，18条解説で簡潔に説明する。

表Ⅱ-1.10　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子に対する今後の整理・検討事項

項目		整理・検討事項
第14条 設計計算に用いる物性地	13)	第9条の1)に同じ
	14)	解説の中で標準値を明記すべきか
第18条 許容応力	15)	解説のまとめ方（基本的な考え方）は妥当か。問題ないか。
	16)	農林基準や水道指針の考え方を簡潔に説明しなければならないが，参考として一部転記する場合は,出版元に確認（許可を得る）すべきか。
第20条 主要耐圧部設計条件	17)	農林基準や水道指針の考え方を参考に，FRPMの条項に対して若干変更した。たわみ量に関する検討を加え，空虚時の外圧に関する検討は省略可能とした。この対応が適切なのか。
第23条 摩擦に関する考慮	18)	参考文献の紹介だけでいいか。一部内容を岸すべきか。その場合,出版元に許可を得なくてもいいのか。
第24条 継手の設計	19)	必要な水密性について，FRPMにおいては設計水圧の1.5倍の試験水圧で確認することにしているが，農林基準では,設計水圧の２倍の圧力に対して水密性を確認することになってる。従って,本基準案においても，水密性の確認は設計水圧の２倍の試験水圧で行うこととした。 なお，継手の施工（第５９条）で実施する継手部現場水密試験では，農林基準に準じて設計水圧（１倍）における確認とする。
	20)	具体的な形（図）を挿入すべきか
第28条 応力の算定	21)	応力等の算出式について，農林基準，水道指針の考え方に準じることとしたが問題はないか。 また，その具体的な考え方（数式）などを説明すべきか。その場合,出版元に許可を得なくてもいいのか
第29条 座屈強度	22)	一般市販管が”とう性管”で，大きくたわんでも破損しない性質を持つことから，座屈に関する検討を省略可能とした。問題ないか。 なお，土中埋設の空虚時においては，外圧に対して許容たわみ内にあることを確認することとしている。
第30条 ～33条	23)	FRPMでは，岩盤トンネル内への設置を念頭に置いているが，一般市販管の適用において現実的ではないと考えられるので，差し支えなければ省略したい。 なお，岩盤を開削して一般市販管を付設し,後から現場発生材（岩ズリ）などで埋め戻す場合は,土中埋設に準じて対応するものとする。
第37条 応力の算定	24)	応力等の算出式について，農林基準，水道指針の考え方に準じることとしたが問題はないか。 また，その具体的な考え方（数式）などを説明すべきか。その場合,出版元に許可を得なくてもいいのか
第38条 座屈強度	25)	一般市販管が”とう性管”で，大きくたわんでも破損しない性質を持つことから，座屈に関する検討を省略可能とした。問題ないか。 なお，土中埋設の空虚時においては，外圧に対して許容たわみ内にあることを確認することとしている。

表Ⅱ-1.10　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子に対する今後の整理・検討事項

項目		整理・検討事項
第39条 曲管	26)	現状ではFRPMの考え方に準じて，最低でも”曲率半径を管内径の2倍以上”としているが，コストダウンを狙って一般市販管の規制ベント管などを採用する場合は，曲率半径が管内径の2倍以下になってしまう場合がある。 したがって，規制ベント管などを利用する場合は曲率半径の規制を適用外としたい。
	27)	ポリ管やリブ管（溶接継目）の曲線配置を可能とした。
	28)	塩ビ管やリブ管（ゴム輪継目）について，原則は直線配置だが，状況に応じて曲線配置も可能とした。
第43条 継手	29)	ポリ管バット融着の場合の内ビード（圧着によって発生する内面の肉盛状のこぶ）について，必要がある場合は削除するものとした。
第44条 伸縮継手	30)	ポリ管やリブ管（溶着継手）では，線膨張係数が大きいことから，伸縮継手の利用を不可とした。
第47条 マンホール	31)	FRP(M)ではマンホールの大きさについて記述されていたが，一般市販管の場合は部会意見を取り入れて記述しないこととした。
第54条 製管	32)	製造方法に関する規定は，それぞれの管の根拠となるべき基準（塩ビ管はJIS，ポリ管は水道協会規格，リブ管は高耐圧ポリエチレン協会基準）に準拠することを確認するものとした。
	33)	一般市販管の場合は省略可能な条項か。
第59条 継手の施工	34)	FRP(M)偏では特に規定がないが，農林基準を参考に，継ぎ目試験の実施が望ましいものとした。
全て	35)	不要な部分がないか。必要最小限の条項,内容になっているか。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
1　総則		
1.1　適用範囲	**(適用範囲)** 第1条　この基準はすべての水力発電所のFRP管及びFRP(M)管を用いる水圧管路に適用する。 [illegible]	**(適用範囲)** 第1条　この基準はすべての水力発電所の一般市販管を用いた水圧管路に適用する。 【解説】 この基準は，第2条に定義する一般市販管を用いた水圧管路（以下「一般市販管」という）に適用するものである。 水力発電所には，大容量・高落差の大規模なものから，渓流を利用した小規模なものまであるが，一般市販管については規模に関わらず設計，その他の面で本質的に異なるところはないので，全ての水力発電所に適用するものとする。 また，一般市販管は水圧管路のみならず導水路および余水路などの材料としても適用可能な材料であり，これらに使用する場合においては荷重条件など個々の諸条件を勘案のうえ，内圧の有無に関わらずこの基準を準用する。 なお，関連する法規および基準は以下のとおりであり，これらを考慮して設計する必要がある。 （関連する法規類） ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第1条に準拠する。 （参考となる基準類） 『日本水道協会 水道施設設計指針』（以下，単に”水道指針”と略す） 『農林水産省構造改善局 土地改良事業計画設計技術基準(パイプライン)』(以下，単に”農林基準”と略す)
1.2　定義	**(定義)** 第2条　「FRP(M)水圧管」,「主要耐圧部」,「付属設備」,「FRP管」,「FRP(M)管」,「FW管」,「CC管」等の主要な用語を定義 [illegible]	**(定義)** 第2条　この基準において「一般市販管」とは，取水口・ヘッドタンク又はサージタンクから水車に導水するために設けられた工作物であって，主要耐圧部を構成する一般市販管及びその付属品をいう。 ２．この基準において「主要耐圧部」とは，一般市販管の管胴本体をいう。 ３．この基準において「付属設備」とは，次に上げるものをいう。 (1) 継手 (2) 伸縮継手 (3) スラストカラ，スチフナ，その他主要耐圧部と特に密接な関係があるもの (4) マンホール (5) 空気管及び空気弁 (6) 制水弁及びそのバイパス管並びにバイパス弁 (7) 排水管及び排水弁 (8) 支持構造物 ４．この基準において「一般市販管」とは，硬質塩化ビニル管（PVC-U），ポリエチレン管，耐圧ポリエチレンリブ管（ハウエル管）をいう。 【解説】 5までは基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第99条に準拠する。 6．本技術基準で対象とする「一般市販管」とは以下の管をいう。 1) 硬質塩化ビニル管(PVC-U)（本基準の中では単に”塩ビ管”と略す）　；JIS K 6741およびこれに準じるもの 2) ポリエチレン管（本基準の中では単に”ポリ管”と略す）　；水道協会規格およびこれに準じるもの 3) 耐圧ポリエチレンリブ管(ハウエル管)（本基準の中では単に”リブ管”と略す）　；高耐圧ポリエチレン協会基準およびこれに準じるもの 7．前項で定義する”これに準じるもの”とは，当該JIS・規格・基準と同等の性能（内圧強度など）や試験方法などが明確にされたものをいう。 【参考】 プレストレストコンクリート管（以下，単に”PC管”と略す）については，主要材料がコンクリートであるため，特に本基準で規定する必要がない。 なお，市場に流通する一般的なPC管（JIS A 5373およびこれに準じるもの）を使用する場合は，本基準第13，24，43，44，45条など，特に継手部に関する規定事項を参考に設計することが望まれる。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
2　計画一般		
2.1　計画，設計	**(計画，設計)** 第3条　FRP(M)水圧管の計画・設計は，安全性，経済性，施工性を考慮しなければならない。	**(計画，設計)** 第3条　一般市販管による水圧管の計画・設計は，安全性，経済性，施工性を考慮しなければならない。

FRP(M)管（水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編）

【解 説】 ＦＲＰ(M)水圧管は，発電用水力設備の重要構造物の一つであり，設備の安全確保を前提とし，管路の機能性，施工性，保守管理等を考慮して，最も経済的な計画，設計をしなければならない。

水圧管路計画において，水圧鉄管（鋼管）とＦＲＰ(M)管を比較した場合，ＦＲＰ(M)管の採用が考慮される条件としては，下記のような事項があげられる。

① 浅い地山掘削で堅硬な支持地盤が得られ，通常設計において鋼管（溶接及びメカニカル継手）より経済的な場合。

② 取水地点（沈砂池），又は導水路トンネルを極力接続させて設けたヘッドタンクより発電所地山表面へのＦＲＰ(M)管の露出設置又は埋設設置によって水車に直結できる場合。

なお，ヘッドタンク，余水路を省略する合理化設計も比較検討事項となる。

③ 浅部で堅硬な支持地盤への着岩が期待できず，圧密沈下その他による水圧管支持基礎の変形の可能性が考えられる場合。

また，地山の掘削それ自体が，地山の安定に影響を及ぼす恐れがあるとする考え方から，掘削を極力少なくしたい場合。

④ 発電用水が鋼管を腐食させるような水質である場合。

⑤ 管の埋設箇所が鋼管を腐食させるような土質である場合。

なお，ＦＲＰ(M)水圧管は，施設の経済性のみでなく，発電所全体設備の経済性を考慮して計画・設計する必要がある。

ＦＲＰ(M)水圧管は，特に次の要素を考慮して計画される。

(1) 発電所の形式

水力発電方式は一般水力（流込み式，調整池式，貯水池式）と揚水式に大別される。一般水力は中小規模のものが多く，揚水式は大規模のものが多い。

ＦＲＰ(M)水圧管の計画，設計に当たっては，適用する発電所の条件を考慮した経済検討が必要である。

(2) 経　路

ＦＲＰ(M)水圧管の経路は，材料本来からは平面，縦断面共直線形にするのが望ましいが，軽量，耐食性，継手部の角変位・軸変位に対する追随性等の特有の機能を活用し，地形・地質・環境条件及び経済性等に十分配慮した配置とすべきである。

ただし，縦断勾配は取水口，ヘッドタンク又はサージタンクの水位が最低の場合でも，水圧管路が動水勾配線以下となるように設定し，水車の負荷変動（遮断，無拘束速度時を含む）によって負圧を生じないようにする必要がある。

(3) ＦＲＰ(M)水圧管の支持形式

ＦＲＰ(M)水圧管の支持形式は露出式と埋設式に大別される。

露出管の支持形式としては両端支持，中間2点支持，連続基礎支持等が代表的なものであり，基礎条件，応力条件，伸縮管の選択等を考慮して選択される。

埋設管の支持構造物は土質材料と巻立コンクリートに分けられる。土質材料及びこれに類する材料の埋め戻しにより埋設する場合は，施工条件による設計内圧，管軸方向曲げモーメント，許容内圧，たわみ量，管軸方向曲げ応力等を総合検討する。

なお，巻立コンクリートにより支持する場合，その構造及び材質に問題が無いことを確認し，地山の地形・地質・岩盤の性状を考慮したうえで，内圧の一部を周囲の岩盤に負担させることができる。

(4) ＦＲＰ(M)水圧管の施工法

一般水力で取水地点と水車を直結する計画では，水圧管路の工事工程が全工程に影響する場合もあるので，仮設備（道路）を含む施工法が重視される。

揚水式発電所の水圧管路は埋設管形式が多く，水圧管路工事がトンネル掘削，コンクリート巻立・埋戻を含めて発電所全体の工事工程を支配する要因となる場合があるので，ＦＲＰ(M)管の据付時間が短い特性を活かした施工法等を検討した計画を行う必要がある。

(5) 水圧管路の条数

水圧管路の工事費は一般に条数とともに増加するので，管路が長い場合は管径，輸送制限，強度制限等を考慮し，適切な位置に分岐部を設けて，それより上流の管路条数を減らすのが望ましい。

(6) 管　径

発電設備の経済性は，全設備の建設費及び維持管理費用に基づく年間経費(C)と有効出力，有効電力量等に基づく年間効用(V)を基本として評価され，一般に(V−C)を最大とする規模で開発規模が，C/Vの小さいものの順によって開発順位等が考慮されている。

従って，発電用水力設備の一部である水圧管路の建設費のみに着目することなく，発電計画全体を考慮した経済性の検討が必要である。

ＦＲＰ(M)管の管径は，予め設定されている呼び径のものの中から選択するのが設計，製作上から経済的である。

水圧鉄管（鋼管）では，設計水圧の増加に応じて管径を縮小し管厚を低減させて経済性を高める設計がなされるが，ＦＲＰ(M)管は，その設計及び製造上の特徴から同一管種の製作ロット数も考慮し，できる限り同一管径・管厚の管を使用するのが経済的である場合が多い。

上記の設計水圧を越える高圧部は，一般に急勾配部分となっている場合が多いと考えられるが，管種（管厚）の選択，1管種当たりの最小製作ロット数等を勘案したうえで，さらに管径を変化させるかどうかを検討することになる。

なお，既往の実績では，同一管径のものが使用されている例が多い。

管径は，取りあえず，通常の水圧鉄管の場合に考えられる平均管径に近似する呼び径のものを選択し，最終的に採用する呼び径は，上記で選択した呼び径の上下の呼び径のものを比較案として設定し，それぞれの工事費，有効出力，有効電力量の評価額の増減に基づく経済性を比較検討して最も経済的な管径を選択する。

(7) 管材料（管種）

ＦＲＰ(M)管の主要耐圧部の原材料は第7条で規定する。

ＦＲＰ(M)管は設計条件に応じて，充水時，満水時，空虚時の強度計算から管厚を決定するか，又は管種を選定する。

表-3-1にJIS A 5350(1991) で規定する内圧管の種類を示す。

表-3-1　内圧管の種類

単位 MPa {kgf/cm²}

管	種	試験内圧
内圧管	1種	2.6 {27}
	2種	2.1 {21}
	3種	1.4 {14}
	4種	1.0 {10}
	5種	0.5 {5}

(8) 単管の有効長

JIS A 5350(1991) に記載されているＦＲＰＭ管の有効長は，4m及び6mである。

ＦＲＰ管についてはJISでは規定されていないが，ＦＲＰＭ管に使用される芯金又は回転型枠でＦＲＰ管を製作するとすれば，ＦＲＰ管の有効長も4m及び6mが標準と考えられ，管長6m以下のものは任意の長さのものの製作が可能である。日本，工場の管についての呼び径φ800〜φ2000については，有効長8m，10mも製造されているので，輸送制限，支持方式，据付施工等について総合的に検討して，単管長を選択する。

(9) 既設設備の補修・取替え

既設水圧管の補修・取替えについては，第8章で規定する。ただし，既設の設備や地形の関係等で本基準によることが困難な場合は個別に安全性を検討したうえで，既設設備を有効活用することができる。

一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）

【解説】
一般市販管による水圧管路は，簡易発電システムによる発電用水力設備の重要構造物のひとつであり，設備の安全管理を前提として,管路の機能性,,施工性,，保守管理等を考慮し,最も経済的な計画，設計をしなければならない。

水圧管路計画において，一般市販管を採用することの利点として，下記のような事項が挙げられる。
1) 鋼管やFRP(M)管に比べて，資材費が安くなる可能性があること
2) 施工条件にもよるが，鋼管やFRPMに比べて施工性に優れること
3) 資材調達が容易で，建設時・メンテナンス時ともに発電所建設地点周辺の建設業者や水道工事業者が対応可能なこと

なお，一般市販管の採用に当たっては，規程される内圧強度を適切に評価したうえ，充水時，満水時，空虚時，負荷遮断時などの強度計算から管厚,あるいは,管種を決定しなければならない。

(1) 発電所の形式
一般市販管による水圧管の計画，設計に当たっては,適用する発電所の条件を考慮した経済検討が必要である。

(2) 経路
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。

(3) 一般市販管による水圧管の支持形式
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。
⇒　水道指針や農林基準においては土中埋設を基本としている。
⇒　塩ビ管については紫外線による劣化が懸念されるため，露出配管とする場合には適切な紫外線対策を施さなければならない。また，ポリ管やリブ管を露出配管する場合は，カーボンブラックの配合によって紫外線に対応することを基本とし，さらに，線膨張係数が大きいため，温度応力の発生，固定部や他の管との接合部の設計，継手の構造（伸縮継手を設けないなど）形式などについて適切に対応する必要がある。
⇒　塩ビ管を岩盤埋設する場合には，施工時に傷がつかないよう，適切に管理する必要がある。

(4) 一般市販管による水圧管の施工法
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。

(5) 一般市販管による水圧管の条数
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。

(6) 管径
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。
⇒　粗度係数の違いによる流量と損失水頭の関係に配慮したうえで経済性を比較検討しなければならない。

(7) 管材料（管種）
一般市販管の主要耐圧部の原材料は第7条で規定する。
一般市販管は設計条件と各管の特性に応じて，充水時，満水時，空虚時の強度計算から管厚を決定するか，又は管種を選定する。
表3-1に各一般市販管の種類を示す。

表3-1　一般市販管の種類

塩ビ管			ポリ管			リブ管		
記号	最大使用圧力 (Mpa)	呼び径 (mm)	記号	最大使用圧力 (Mpa)	呼び径 (mm)	記号	最大使用圧力 (Mpa)	呼び径 (mm)
VH	1.25	50～250	PE100	1.0程度	50～500	1K	0.10	300～1000
VP	1.00	50～300	---	---	---	4K	0.40	300～1000
VM	0.80	350～500	---	---	---	5k	0.50	300～1000
VU	0.60	50～500	---	---	---	---	---	---

(8) 単管の有効長
一般市販管の有効長は，工場での製作，輸送制限，支持方式，据付施工，工期等について総合的に検討して決定する。

(9) 既設設備の補修・取替え
⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第3条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
2.2　設計に用いる内圧	**(設計に用いる内圧)** 第4条　FRP(M)水圧管の設計に用いる内圧は，静水圧にサージング及び水撃作用による上昇圧を加味して，起こりうる最大水圧とする。 [illegible]	**(設計に用いる内圧)** 第4条　一般市販管による水圧管の設計に用いる内圧は，静水圧にサージング及び水撃作用による上昇圧を加味して，起こりうる最大水圧とする。 【解説】 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第4条に準拠する。 ⇒　本基準で対象とする塩ビ管，ポリ管，リブ管では，鋼材に比べて弾性係数が小さいため，鋼管に比べて水撃圧が小さくなる。 ⇒　水道指針では，”水撃圧については，ダクタイル鋳鉄管，鋼管及びステンレス鋼管では目安として”0.45MPa～0.55MPaが見込まれ，塩ビ管及びポリ管では，管材のヤング率が前記の管材に比べて小さいことから0.25MPaを見込んである”と記述している。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
2.3　設計に用いる外圧	**(設計に用いる外圧)** 第5条　FRP(M)水圧管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力する。 [illegible]	**(設計に用いる外圧)** 第5条　一般市販管による水圧管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力する。 【解説】 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第5条に準拠する。
2.4　損失水頭	**(損失水頭)** 第6条　FRP(M)水圧管の損失水頭は，できるだけ小さくなるようにしなければならない。 [illegible]	**(損失水頭)** 第6条　一般市販管による水圧管の損失水頭は，できるだけ小さくなるようにしなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第6条に準拠する。 ⇒　塩ビ管の粗度係数は0.009～0.012とされている（『水理学Ⅰ』大西外明著）。また，ポリ管およびリブ管は0.010とされている（メーカーカタログ）。参考として，FRPM管はn=0.010～0.012(水門鉄管基準)，鋼管はn=0.010～0.014(水門鉄管基準)，PC管はC=0.010程度（日本大学実験報告書）とされている。 ⇒　水道指針および農林基準では，摩擦による損失水頭をヘーゼン・ウィリアムス公式により求めることを基本としている。この場合，塩ビ管，ポリ管，リブ管およびFRPM管の流速係数Cは150（φ150以下はC=140），鋼管およびPC管はC=130とされている。 ⇒　ポリ管のバット融着の際に発生する内ビード（圧着よって生じる盛り上がり）について，特に必要がある場合は，これを除去することができる。なお，水道基準では内ビードの除去を規定していない（損失水頭に対して考慮しない）。
3　**材料**		
3.1　主要耐圧部の材料	**(主要耐圧部の材料)** 第7条　主要耐圧部に使用する材料は，FRP強度層が表-7-1に挙げる種類の原材料を用い，FW成形方法又はCC方法によって製造されたFRP(M)管とする。ただし，十分な検討を加えた場合は，これ以外の材料を使用することができる。 [illegible]	**(主要耐圧部の材料)** 第7条　主要耐圧部に使用する材料は，第2条で定義された一般市販管とする。 【解説】 主要耐圧部に使用する材料は，第2条解説6に示されるJIS基準中に規定される材料をもとに製造された一般市販管とする。 なお，当該JIS基準において管種・管厚等の決定に必要となる材料特性，継手性能等が規定されていない場合，使用する一般市販管としては第2条解説7に準拠した協会基準やメーカー基準に基づき，管の材料特性等が明確になっているものを用いるものとする。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
3.2　付属設備の材料	**(付属設備の材料)** 第8条　付属設備に使用する材料は次のとおりとする。 (1)継手：第7条に定める材料（水密ゴムを除く） (2)スチフナ及びストラスカラ：第7条に定める材料 (3)水密ゴム：JIS K 6353(1991)「水道用ゴム」又はこれと同等以上のもの (4)その他の付属設備：「水門鉄管技術基準」に定める材料 【解　説】継手には，主要耐圧部と一体に成形される「ソケット形」と，別個に成形される「スリーブ形」とがあるが，いずれも，主要耐圧部と密接な関係をもち，それと同等の機能及び強度が要求されるため，第7条に定める材料で製造しなければならない。 スチフナ，ストラスカラは，主要耐圧部に対し，二次積層によって成形されるか，接着等によって取り付けられ，一体となって荷重に抵抗する主要な付属設備であるため，第7条に定める材料を用いるものとする。 水密ゴムは，原則として，機械的性質がJIS K 6353(1991)「水道用ゴム」に合致するものとする。 継手ゴムについては，通常，日光にさらされないので，SBR（スチレンブタジエンゴム）を主原ポリマとして用いてよいが，より厳しい条件で使用する場合は，耐候性のより高いCR（クロロプレンゴム）等のポリマを用いるか，耐候性を考慮した配合を選択することを検討しなければならない。 アンカバンド等，主要耐圧部に直接取付けないその他の付属設備は，通常は鋼材を使用するので，「水門鉄管技術基準，水圧鉄管・鉄鋼構造物編」に定める材料によるものとする。	**(付属設備の材料)** 第8条　付属設備に使用する材料は次のとおりとする。 (1)継手：第7条に定める材料（水密ゴムを除く） (2)スチフナ及びストラスカラ：第7条に定める材料 (3)水密ゴム：JIS K 6353(1991)「水道用ゴム」又はこれと同等以上のもの (4)その他の付属設備：「水門鉄管技術基準」に定める材料 【解説】 継手には，塩ビ管やリブ管のような主要耐圧部と一体に形成される「ソケット形」と，ポリ管の場合のように別個に整形される「スリーブ形」とがある。また，ポリ管やリブ管にように接合部を溶接（融着）するものもある。いづれも主要耐圧部と密接な関係を持ち，それと同等の機能および強度が要求されるため，主要耐圧部と同様に第7条に定める材料で製造されなければならない。 ⇒　第8条(2)～(5)対応部分は，基本的に「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第8条の解説に準じる。
3.3　材料試験	**(材料試験)** 第9条　主要耐圧部に使用する材料は，次の試験を行うものとする。 (1) 原材料試験：各原材料に適用されるJISに規定する項目 (2) FRP強度層の強度試験：引張，圧縮，せん断，その他必要な項目 ただし，あらかじめこれらの強度試験結果が得られている場合は，試験を省略することができる。 【解　説】主要耐圧部の製造に使用する原材料については，JISに規定する試験を行い，該当する規格に適合することを確かめなければならない。 なお，使用する原材料が同一の場合，この原材料の試験は，原材料の製造者が日常行っている試験（いわゆるルーチン試験）の結果で代用することができる。 2．FRP強度層の強度試験は，製品から採取した試験片，又は製品と同様に製作した試験片について行うもので，引張，圧縮，せん断，曲げ試験等がある。 強度試験方法としては，例えば以下に示すものがある。 構造用ガラス繊維強化プラスチック　JIS K 7011(1999) ガラス繊維強化プラスチックの試験方法通則　JIS K 7051(1987) ガラス繊維強化プラスチックの引張試験方法　JIS K 7054(1995) ガラス繊維強化プラスチックの曲げ試験方法　JIS K 7055(1995) ガラス繊維強化プラスチックの圧縮試験方法　JIS K 7056(1995) ガラス繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法　JIS K 7057(1995) ガラス繊維強化プラスチックの横せん断試験方法　JIS K 7058(1995) ガラス繊維強化プラスチックの面内せん断試験方法　JIS K 7059(1995) 製品から採取した試験片を用いてFRP強度層の強度試験を行う場合，これら試験方法の規格を適用するに当たっては，次の点に注意すべきである。すなわち，管は円周方向に曲率をもっているため，目的とする性質が，その試験片及び試験方法によって正しく求められるかどうかを十分検討する必要がある。もし，これらの試験方法では不適当であると認められるような場合は，他の適切な方法によるか，試験片の曲率等に応じて試験値を解析する等の手段を講じる必要がある。 主要耐圧部の設計の基礎とするデータは，本来，強度試験結果から得られるものであるので，試験によって確認しておく必要がある。しかし，通常，FRP(M)管の製造所においては品質管理のために各種試験を行い，ガラス含有率と強度，その他の物理値の関係等を把握している場合が多い。したがって，あらかじめこれらのデータが得られている場合は，試験を省略することができる。 3．工場で管製品について行う試験及び検査は，第55条の規定によるものとする。	**(材料試験)** 第9条　主要耐圧部に使用する材料は，次の試験を行うものとする。 (1) 原材料試験：各原材料に適用されるJISまたはこれに準じる基準に規定する項目 (2) 強度試験：引張，クリープ，せん断，その他必要な項目 ただし，あらかじめこれらの強度試験結果が得られている場合は，試験を省略することができる。 【解説】 主要耐圧部に使用する原材料については，当該一般市販管の規格（第2条解説6および7）に記載される材料に適合するJISあるいはそれに準じる基準（第2条解説7）に規定される試験を行い，該当する規格に適合することを確かめなければならない。 なお，使用する原材料が同一の場合，この原材料の試験は，原材料の製造者が日常行っている試験（いわゆるルーチン試験）の結果で代用することができる。 2．強度試験は，製品から採取した試験片又は試験管，または，製品そのものについて行うもので，引張，クリープ，せん断試験等がある。試験方法については，当該一般市販管の規格（第2条解説6および7）に準じるものとする。 一般市販管の管種や管厚を設計する際の基礎となるデータは，本来，強度試験から得られるものであるため，試験によって確認しておく必要がある。しかし，通常，一般市販管の工場においては品質管理のために各種試験を実施し，各種データを的確に把握している場合が多い。したがって，あらかじめこれらのデータが得られている場合は，試験を省略することができる。 3．工場で管製品について行う試験（内圧，外圧，継手性能試験など）および検査は，第55条の規定によるものとする。
4　**主要耐圧部の設計**		

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.1　設計計算の原則	**(設計計算の原則)** 第10条　FRP(M)水圧管の主要耐圧部の設計計算は，原則として許容応力法によって行うものとする。 [illegible]	**(設計計算の原則)** 第10条　一般市販管の主要耐圧部の設計計算は，原則として許容応力法によって行うものとする。 【解説】 本基準で対象とする一般市販管の主要耐圧部の設計計算方法は，原則として「許容応力度法」によるものとする。許容応力度法は，管に生じる応力を計算し，それが許容値内にあることを照査するものである。 なお，農林基準における一般市販管の設計（管厚検討）は許容応力度法によっているが，水道指針では水道施設の基準として設定される設計内圧をもとに管種・管厚が決定される。 【参考】 PC管の場合は一般的に「限界状態設計法」によるものとされている。限界状態設計法は，作用する内圧および外圧の合成力が，PC管の性能値以下となることを照査するものである。
4.2　管の構成と各層の取扱い	**(管の構成と各層の取扱い)** 第11条　FRP(M)水圧管主要耐圧部の設計計算における各層の取扱は，次によるものとする。 (1)　FRP強度層の余裕厚は考慮しない。 (2)　保護層及びFRP(M)管の樹脂モルタル層の強度は考慮しない。 [illegible]	**(最小板厚及び余裕厚)** 第11条　本基準で対象とする一般市販管については，最小板厚及び余裕厚ともに考慮しない。 【解説】 水圧鉄管では製作・運搬・据付け等の条件に対して必要な合成を保つための最小板厚を規定している。また，強度上必要となる管厚に対して，腐食・摩耗による管厚の減少を考慮して余裕厚を設けるのが一般的である。 一方，FRP(M)の場合は，最小板厚の規定はないものの，管の内外面に保護層（耐食層）を設け，この保護層は強度計算には考慮しない。 ここで，本基準で対象とする一般市販管（第2条解説6および7）では，当該規格によって管の寸法が規定されているため，最小板厚は考慮しないものとした。 また，本基準で対象とする一般市販管（第2条解説6および7）を使用している水道分野（『水道指針』）や農林分野（『農林基準』）の基準では，腐食および摩耗に関する余裕厚確保は考慮していない。さらに，当該一般市販管は腐食し難い材質であることが知られており，摩耗に関する既往の試験結果（広島大学他）では，塩ビ管，ポリ管およびリブ管の耐摩耗性はFRP(M)に比べて高いと報告されている。 したがって，本基準で対象とする一般市販管については余裕厚を考慮しないものとした。 なお，余裕厚の確保については，強酸性や強アルカリ性の地盤や流水へ対応する場合や，特に摩耗に配慮すべき条件のときには，別途，余裕厚の必要性およびその厚さに関する検討を行うものとする。
4.3　設計計算に用いる寸法	**(設計計算に用いる寸法)** 第12条　FRP(M)水圧管の主要耐圧部の設計計算に用いる寸法には，原則として公差を考慮しないものとする。 [illegible]	**(設計計算に用いる寸法)** 第12条　一般市販管による水圧管の設計計算に用いる寸法には，原則として公差を考慮しないものとする。 【解説】 一般市販管は，既製管として規格の寸法等から使えるものを選定する場合が基本であり，状況に応じて，特注品として自由に寸法等を設定する場合がある。いずれの場合も製造においては公差が設けられるが，設計計算では公差を考慮せずに設計値を用いる。本基準で対象とする一般市販管の管径および管厚の公差は第55条解説に示す。 なお，水道指針や農林基準でも，特に公差を考慮していない。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

<table>
<tr><th>項　目</th><th>FRP(M)管
（水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）</th><th>一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）</th></tr>
<tr><td>4.4　FRP強度層の繊維含有率</td><td>(FRP強度層の繊維含有率)
第13条　FRP(M)水圧管主要耐圧部の設計計算に用いるFRP強度層の繊維含有率は，製造条件に正しく合致しなければならない。

【解 説】 ＦＲＰ強度層におけるガラス繊維の占める割合，すなわちガラス繊維含有率（以下「繊維含有率」という）は，次式で与えられる。
$V_f=\frac{U_f}{U}$ ……(13.1)
ここに，V_f：ＦＲＰ強度層の繊維含有率（体積率）
U_f：ガラス繊維の全体積
U：ＦＲＰ強度層の全体積
ＦＷ管のような１方向繊維強化材の場合，式(13.1)は次のように計算される。
$V_f=\frac{\Sigma (m\cdot Tex)}{\rho_f\cdot t_f}$ ……(13.2)
ここに，Tex：ガラスロービングの番手（tex＝g/km）
ρ_f：ガラスロービングの密度（通常2.54×10^{-6}kg/mm³程度）
m：単位幅当たりのガラスロービング本数（本/mm）
t_f：ＦＲＰ強度層の厚み
式(13.2)は，１方向繊維強化材であれば一般に成り立つ。しかし，ＦＲＰ(M)管の設計において表-10-3の組合せのようにＦＲＰ強度層が管厚方向に均一であるとする場合には，t_fとして第15条の図-15-1に示すt_0を用い，また，Σ(m・Tex)としては，各ＦＲＰ強度層（すなわち内層及び外層ＦＲＰ強度層）に対し，その層に含まれる円周又は管軸それぞれの方向のガラス繊維のみを考え，その総和をとる。
したがって，この場合，「繊維含有率」とは，便宜上「ＦＲＰ強度層の総体積に対する各方向のガラス繊維の体積の比率」を意味するものとなり，V_fには円周方向，管軸方向の２つが定義されることになる。例えば，「円周方向の繊維含有率」とは，円周方向のガラス繊維のみを考え，管軸方向のガラス繊維は樹脂であるものとして計算した繊維含有率である。この場合，ＦＲＰの繊維に直角な方向の機械的性質は，樹脂のそれと同程度とみなすという仮定を用いていることになる（第14条【解説】参照）。
V_fはＦＲＰの強度に大きく影響するので，設計計算に用いるＦＲＰ強度層の繊維含有率は製造条件を正しく反映したものでなければならない。ＦＷ管の場合，V_fのおおよその範囲を表-13-1に示す（【補足資料１】参照）。

表-13-1　V_fのおおよその範囲（ＦＷ管）
| ラミナの区分 | V_f% | 備　考 |
| ＦＲＰ強度層（内外層） | 円周方向：20～50
管軸方向：5～25 | 表-10-3の組合せによるとき。 |

なお，ＣＣ管の場合はＦＲＰ強度層に含まれるすべてのガラス繊維を考える。したがって，各層に１つのV_fしか定義されない。ＣＣ管は，V_f＝35%程度である。</td><td>《該当事項なし》</td></tr>
<tr><td>4.4’　継手効率</td><td>≪鋼管編≫
(溶接継手効率)
第16条　水圧鉄管の突合せ溶接の継手効率は表-1・16-1及び表-1・16-2のとおりとする。
（表は略す）

【解説】
略</td><td>(継手効率)
第13条　一般市販管による水圧管の継手効率は基本的に考慮しないものとするが，必要に応じて適切な値を設定するものとする。

【解説】
FRP(M)管の場合は特に継手効率を考慮していない。また，水道指針や農林基準でも特に考慮していない。したがって，一般市販管においても基本的に継手効率を考慮しないものとした。
なお，ポリ管やリブ管で融着接合とする場合は，必要に応じて適切な値を設定する。</td></tr>
</table>

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.5　設計計算に用いる物性値	**(設計計算に用いる物性値)** 第14条　FRP強度層の計算に用いる物性値は，次のいずれかによるものとする。 (1)試験値 (2)複合則による計算値 [illegible]	**(設計計算に用いる物性値)** 第14条　一般市販管の計算に用いる物性値は，次のいずれかによるものとする。 (1)試験値 (2)当該JISあるいはこれに準じる基準の性能規定値 【解説】 一般市販管による水圧管路の計算に必要な基本的物性としては，次のようなものがある。 物理定数　；弾性係数，ポアソン比，比重（密度），線膨張係数 機械的強度　；引張り強さ，圧縮強さ，せん断強さ 本基準で対象とする一般市販管の物性値は，実測によって求めるか（試験値），当該JISあるいはこれに準じる基準（第2条解説6および7）の性能規定値を用いるものとする。 なお，標準的な設計においては，水道指針や農林基準に明記される物性値を参考にして良い。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.5　設計計算に用いる物性値	（下記）	《余白》

3　機械的強度

(1)　ＦＲＰの引張強さ

i）ＦＷ管

ＦＲＰ強度層を構成する各ラミナは１方向繊維強化材であるので，繊維方向と繊維直角方向では性質が異なる。

ＦＲＰの繊維方向引張強さσ_Tと繊維含有率V_fの間には，通常，次の複合則が成り立つ。

$$\sigma_T = K_T \cdot \sigma_f \cdot V_f + \sigma_R(1-V_f) \quad \text{-----(14.8)}$$

ここに，σ_T：ＦＲＰの引張強さ

σ_f：ガラス繊維の引張強さ

σ_R：繊維破断ひずみ時の樹脂の応力

K_T：係　数

K_Tは，K_Cと同様，ガラス繊維の分布状態等によって決まる係数で，V_fを変化させて行う材料試験の結果から求められる。K_Cの場合と同様，円周方向強化ＦＲＰ層ではおおむねK_T＝１であるが，管軸方向強化ＦＲＰ層のK_Tは１より小さいのが普通である。なお，実用上は，上式において右辺第２項は簡略のため無視しても差し支えない。

ＦＷ管のK_T測定例を図-14-2及び表-14-4に示す。

図-14-2　引張強さσ_TとV_fの関係

表-14-4　K_Tの値の測定例（ＦＷ管）

区　分	円 周 方 向	管 軸 方 向
K_T	1	0.50
σ_f	1440N/mm²（147kgf/mm²）	
σ_R	69N/mm²（7kgf/mm²）	

１方向強化材の繊維直角方向の引張強さについては，式(14.8)は成り立たず，繊維方向に比べて極めて小さいので注意が必要である。この値も試験によって確認することが望ましい。（【補足資料３】参照）

ii）ＣＣ管

ＣＣ管についても式(14.8)が成り立つ。K_Tは同様，完全に等方向なら理論的にはK_T＝3/8となるが，円周方向が卓越する。これらの値は，異なる製造条件によるときには試験によって確認することが望ましい。

ＣＣ管の引張強さについては測定データが少ないが，φ500のＦＲＰ(M)管から採取した試験片（樹脂モルタル層を含む）による測定例を表-14-5に示す。試験片はV_f＝33％とされている。

図-14-3　圧縮強さσ_cとV_fの関係

表-14-7　K_C'の値の測定例（ＦＷ管）

区　分	円 周 方 向	管 軸 方 向
K_C'	1	0.35
σ_{fC}	994N/mm²（99.3kgf/mm²）	
σ_{RC}	117N/mm²（11.9kgf/mm²）	

式(14.9)に代えて，より簡単に，次式の線形複合則による表現を用いることもできる。

$$\sigma_c = K_C' \cdot \sigma_{fC} \cdot V_f + \sigma_{RC}(1-V_f) \quad \text{-----(14.10)}$$

ここに，σ_{fC}：ガラス繊維の圧縮強さ

σ_{RC}：樹脂の圧縮強さ

K_C'：係　数

σ_{fC}及びK_C'は，V_fを変化させて行う材料試験の結果から求める。

図-14-3の例では，表-14-7のようになる。

なお，繊維直角方向圧縮強さは，繊維に平行な面でのせん断強さτ_Lにほぼ支配されると考えられている。

ii）ＣＣ管

ＣＣ管の圧縮強さについては測定データが少ないが，φ500のＦＲＰ管から採取した試験片による測定例を表-14-6に示す。試験片はV_f＝32％とされている。

表-14-6　ＣＣ管の圧縮強さの測定例

円 周 方 向	343N/mm²（31.5kgf/mm²）
管 軸 方 向	137N/mm²（13.8kgf/mm²）

(4)　ＦＲＰのせん断強さ

ＦＲＰを用いた構造物の強度は，せん断応力から決定される場合が多い。ＦＲＰのせん断強さは，せん断方向により異なるので，設計においては層間せん断面に十分注意するとともに，試験によってそれらの強度を確認しておくのが望ましい。

ＦＷ管のような１方向繊維強化材の場合，繊維に平行な面では，繊維含有率V_fを大きくしてもせん断強さは増加せず，逆に低下することがある。

また，ＦＲＰ強度層内の層間せん断強さは，繊維に平行な面のせん断強さと同程度であると考えられる。

図-14-4はＦＷ管のせん断強さτ_LとV_fの関係を調べた例であるが，繊維に平行な面のせん断強さは，V_fにかかわらず樹脂のせん断強さτ_R

表-14-5　ＣＣ管の引張強さの測定例

円 周 方 向	218N/mm²（22.2kgf/mm²）
管 軸 方 向	55.3N/mm²（5.64kgf/mm²）

(3)　ＦＲＰの圧縮強さ

i）ＦＷ管

１方向繊維強化材の繊維方向圧縮強さσ_cと繊維含有率V_fとの関係については，いくつかの説があるが，この問題には樹脂の強度，繊維と樹脂の界面強度，繊維の形態等，多くの要因が関係しており，理論的に予測することは困難なことが多い。

Rosenの微細座屈モデルは圧縮強度理論の代表的なものの１つであるが，ＦＷ管の場合，これを係数K_Cで補正した次式が試験値をよく表わすことが報告されている(図-14-3)。この場合，E_f及びE_mは，表-14-1の値を用いている。

$$\sigma_c = 2V_f\left[\frac{K_C \cdot V_f \cdot E_f \cdot E_m}{3(1-V_f)}\right]^{1/2} \quad \text{-----(14.9)}$$

$$\sigma_c = K_C \cdot G_m/(1-V_f)$$

ここに，σ_c：ＦＲＰの繊維方向圧縮強さ

G_m：樹脂のせん断弾性係数

K_C：係数

表-14-8　K_Cの値の測定例（ＦＷ管）

区　分	円 周 方 向	管 軸 方 向
K_C	0.2	0.093
G_m	1.3kN/mm²（130kgf/mm²）	

(34N/mm² 3.5kgf/mm²)と同程度か，やや小さくなることが報告されている。

表-10-1のようにＦＲＰ強度層全体を均一として取扱うときは，ＦＲＰ強度層の面内せん断強さとしてτ_Rを用いても差し支えない。ただし，面内せん断応力が大きい場合や層間せん断応力が無視できない場合には，より詳しく検討するのが望ましい。

図-14-4　せん断強さτ_LとV_fの関係

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.6　設計計算に用いる管壁の断面性能	**(設計計算に用いる管壁の断面性能)** 第15条　FRP強度層の計算に用いる管壁の断面性能は，次のいずれかによるものとする。 (1)積層材の理論による計算値 (2)その他適当な方法により求めた値	**(設計計算に用いる管壁の断面性能)** 第15条　一般市販管による水圧管路の計算に用いる管壁の断面性能は，次のいずれかによるものとする。 (1)当該JISあるいはこれに準じる基準の規定値 (2)その他適当な方法により求めた値 【解説】 一般市販管による水圧管路の計算に必要な断面性能は，当該JISあるいはこれに準じる基準（第2条解説6および7）の性能規定値を用いるものとする。また，標準的な設計においては，水道指針や農林基準に明記される物性値を参考にして良い。 また，「その他適当な方法」としては，水圧試験時の管胴ひずみ又は扁平試験時のたわみから，管材の引張り試験や曲げ試験から求める方法がある。
4.7　考慮する荷重	**(考慮する荷重)** 第16条　主要耐圧部は，次の荷重に対して安全であるように設計しなければならない（以降省略）。	**(考慮する荷重)** 第16条　主要耐圧部は，次の荷重に対して安全であるように設計しなければならない。 (1)　露出形式一般市販管による水圧管の場合 内圧，管の質量，管内水の質量，雪荷重，温度変化，排水時外圧，地震力，風圧 (2)　岩盤埋設形式一般市販管による水圧管の場合 内圧，外圧，温度変化 (3)　土中埋設形式一般市販管による水圧管の場合 内圧，土圧，載荷重，管内水の質量，雪荷重，温度変化，排水時外圧 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第16条に準拠する。
4.8　荷重の組合せ	**(荷重の組合せ)** 第17条　前条の荷重は，次の各号の組合せについて考慮しなければならない（以降省略）。	**(荷重の組合せ)** 第17条　前条の荷重は，次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 露出形式一般市販管による水圧管の場合 1．管内満水時：内圧，管の質量，管内水の質量，雪荷重，温度変化，地震力，風圧 2．管内充水時：管の質量，管内水の質量 3．管内空虚時：排水時外圧 岩盤埋設形式一般市販管による水圧管の場合 1．管内満水時：内圧，温度変化 2．管内空虚時：外圧 土中埋設形式一般市販管による水圧管の場合 1．管内満水時：内圧，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重，温度変化 2．管内充水時：管の質量，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重 3．管内空虚時：土圧，載荷重，雪荷重，排水時外圧 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第17条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.9　許容応力	**(許容応力)** 第18条　設計計算に用いる許容応力は，第14条によるFRP強度層の強度を適切な安全率で除して求めるものとする。	**(許容応力)** 第18条　設計計算に用いる許容応力は，第14条による一般市販管の強度を適切な安全率で除して求めるものとする。

FRP(M)管

【解説】一般に構造物の安全率は，構造物の使用条件（作用荷重の性質及び大きさ，環境，使用期間，その他），使用材料の性質（強度，変形性能，その他），設計計算の精度（求める作用応力の種類，計算手法，その他），製造条件（製造方法，その他），検査条件（検査方法，検査の程度，その他），等の因子を総合的に勘案して決定される。

これらの安全率に寄与する因子は，適用対象となる地点ごとに異なることから，ＦＲＰ(M)水圧管の設計計算に用いる安全率は，各地点の状況に応じ，これらの要因を考慮したうえで設計者が判断し，決定する必要がある。

通常のＦＲＰ(M)水圧管に対し，本基準に従って設計する場合は，表-18-1の安全率を用いてよい。この値はASMEのＦＲＰ圧力容器基準[1]で採用している安全率と等しい。

表-18-1　安全率の標準例（破壊応力に対し）

管路形式	露　出	岩盤埋設	土中埋設
安全率	6	6	6

ただし，表-18-1の値は本基準で述べる材料，計算方法等によって設計する場合であって，使用条件その他に応じ，また，精度の高い解析を行う等，十分に検討したうえで，設計者の判断によって低減することが可能である。

1)　ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. X, Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels, RD-111, 1995.

一般市販管

【解説】
一般に，構造物の安全率はその使用条件（作用荷重の性質および大きさ，環境，使用期間，その他），使用材料の性質（強度，変形性能，その他），設計計算の精度（求める作用応力の種類，計算方法，その他），製造条件（製造方法，その他），検査条件（検査方法，検査の程度，その他），等の因子を総合的に勘案して決定される。
これらの因子は，適用対象となる地点ごとに異なることから，一般市販管による水圧管の設計計算に用いる安全率は，各地点の状況に応じて，これらの要因を考慮したうえで設計者が判断し，決定する必要がある。

農林基準では，塩ビ管およびポリ管に対して，引張り降伏強度に対して安全率を3として許容引張応力度を設定している。
[参考]　塩ビ管；　σa ＝ 50 ÷ 3　　17.0 MPa
　　　　ポリ管；　σa ＝ 20 ÷ 3　　 6.5 MPa

一方，水道指針では，長期静水圧強度（管が20℃で50年以上耐えうる周方向応力）に対して，塩ビ管は安全率を2.3程度，ポリ管は安全率を2.0，として設計応力（許容引張応力）を設定している。
[参考]　塩ビ管；　σa ＝ 25 ÷ 2.3　　10.8 MPa
　　　　ポリ管；　σa ＝ 10 ÷　2　　 5.0 MPa

また，農林基準では内圧と外圧による応力を合成して（足し合わせて）必要管厚の計算を行うが，水道指針では内圧と外圧による応力を分けて必要管厚の計算を行う。従って，水道指針では外圧によって発生する曲げ応力に対しても許容応力を設定している。許容曲げ応力は,引張り降伏強度に対して安全率を2.5程度として計算している。
[参考]　塩ビ管；　σa’ ＝ 50 ÷ 2.5　　19.6 MPa
　　　　ポリ管；　σa’ ＝ 20 ÷ 2.5　　 8.0 MPa

水圧管路に適用する一般市販管の許容応力は，以上の状況を参考に，その応力の計算方法と合わせて事業者と協議して決定するものとする。なお，基本的な場合は以下の考え方によることとしてよい。

a) 内圧と外圧による応力を合成して（足し合わせて）必要管厚の計算を行う場合
　農林基準の考え方に準じ，引張り降伏強度に対して安全率を3とする。

b) 内圧と外圧による応力を分けて必要管厚の計算を行う場合
　水道指針の考え方に準じ，内圧に対しては長期静水圧強度に対して，塩ビ管は安全率を2.3，ポリ管およびリブ管は安全率を2.0とする。外力に対しては，引張り降伏強度に対して安全率を2.5とする。

※ポリ管とリブ管はともに高密度ポリエチレンを基本材料としており，管材としての基本的な材料特性や物理定数も同程度である。従って，本項で参考としたリブ管の安全率はポリ管と同値とした。

また，本基準で対象とする塩ビ管，ポリ管，リブ管はとう性管であり，たわみ率から管厚を求める必要がある。この際に必要となる許容たわみ率および設計たわみ率については，農林基準に示される以下の値を用いてよい。なお，水道基準においては許容たわみ率5%を規定しているが，設計たわみ率については規定していない。

表-5.4.6　設計たわみ率の標準

締固めの程度	締固めⅠ	締固めⅡ
許容たわみ率(%)	5	5
たわみ率のバラツキ(%)	±2（±1）	±1
設計たわみ率(%)	3（4）	4

注1)　締固めの程度は，次のとおりとする。
締固めⅠ――締固め度90%平均（一定の仕様を定めて管理する締固め）
締固めⅡ――締固め度95%平均（綿密な施工管理のもとで行う締固め）
管理範囲――施工上のバラツキ具合は±5%以内とする。
2)　（　）内は基礎材料に砂質土を使用した場合の値を示す。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.10　許容応力の割増	**(許容応力の割増)** 第19条　主要耐圧部の設計においては，荷重の性質に応じて，表-19-1に示す係数を乗じた値まで許容応力を割増しすることができる（以降省略）。 【解 説】水圧管路としての機能等を考慮し，荷重の性質に応じ許容応力の割増しを行ってよいものとする。すなわち，一時荷重の場合の許容応力は，常時荷重の場合の1.5倍の割増しをすることができる。 なお，基本的に脆性材料であり応力の再配分が起こらないというFRPの特性を考慮して，水圧鉄管で行っているような応力の種類（一般応力，曲げ応力，局部応力等）に対する割増しは行わないものとする。すなわち，FRPは鋼のように降伏→塑性変形といった現象を示さないことに注意する必要がある（図-19-1及び【補足資料4】参照）。 図-19-1　FRPの応力－ひずみ線図の例[1] （FW管，軸方向引張り） 1）松本恵男，野村宏，村金紀，FRP(M)(FRP)管の基礎物性と水圧管路の設計，電力土木，No.221，pp.58-67，1989.	**(許容応力の割増)** 第19条　主要耐圧部の設計においては，荷重の性質に応じて，下表に示す係数を乗じた値まで許容応力を割増しすることができる。 表　許容応力の割増し係数 区分 | 常時荷重 | 一時荷重 管内満水時 | 1.0 | 1.5 管内充水時 | 1.5 | 1.5 注）常時荷重；内圧，管の質量，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重，温度荷重 一時荷重；風荷重，地震力 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第19条に準拠する。
4.11　主要耐圧部設計条件	**(主要耐圧部設計条件)** 第20条　主要耐圧部は，第17条の荷重に対して次の各号の条件に適合するように設計しなくてはならない。 (1) 各方向の応力がそれぞれの許容応力以下であること (2) 多軸応力状態がFRPの破壊基準以下であること (3) 管内空虚時に作用する外圧の1.5倍に対して座屈しないこと。 【解 説】主要耐圧部の応力照査においては，円周方向応力，管軸方向応力，及びせん断応力について照査し，それぞれが許容応力以下であるとともに，多軸応力下の状態が材料の破壊基準以下でなければならない。 注．FRPのような直交異方性材料の破壊基準としてはいくつかの説があるが，代表的なものとしては次のものがある。 ① Tsai-Wuの破壊基準 ② Hoffmanの破壊基準 ③ Tsai-Hillの破壊基準 ①は最もよくFRPの破壊特性を表すが，係数が多くなる。②は引張強さ及び圧縮強さが異なる材料に対するものである。③は引張強さ及び圧縮強さが等しい材料に対するもので，最も簡略である。 1軸強化材に対するTsai-Hill及びHoffmanの破壊基準式はそれぞれ次式で表される。 $\Psi=\left(\frac{\sigma_1}{F_1}\right)^2-\frac{\sigma_1\cdot\sigma_2}{F_1^2}+\left(\frac{\sigma_2}{F_2}\right)^2+\left(\frac{\tau}{S_{12}}\right)^2\leq 1$ ------------(20.1) $\Psi=\frac{\sigma_1^2}{T_1C_1}-\frac{\sigma_1\cdot\sigma_2}{T_1C_1}+\frac{\sigma_2^2}{T_2C_2}+\sigma_1\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{C_1}\right)+\sigma_2\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{C_2}\right)+\left(\frac{\tau}{S_{12}}\right)^2\leq 1$ ----------(20.2) ここに，Ψ：破壊に対する指標 F_1：円周方向許容応力 F_2：管軸方向許容応力 T_1：円周方向許容引張応力 C_1：円周方向許容圧縮応力 T_2：管軸方向許容引張応力 C_2：管軸方向許容圧縮応力 S_{12}：許容せん断応力 σ_1：円周方向応力 σ_2：管軸方向応力 τ：せん断応力 これらの破壊基準の適用に当たっては，用いる材料がいずれの破壊基準に従うかを確認し，その基準によって主要耐圧部の多軸応力下の状態を判定する。（【補足資料3】参照）	**(主要耐圧部設計条件)** 第20条　主要耐圧部は，第17条の荷重に対して次の各号の条件に適合するように設計しなくてはならない。 (1) 各方向の応力がそれぞれの許容応力以下であること (2) たわみ量が許容たわみ量以下であること (3) 管内空虚時に作用する外圧の1.5倍に対して座屈しないこと。 【解説】 一般市販管による水圧管路の応力照査においては，円周方向応力の照査を基本とし，必要に応じて管軸方向応力およびせん断応力について照査し，それぞれが許容応力以下でなければならない。 また，本基準で対象とする一般市販管はとう性管であり，管厚中心直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない特性を有しているが，水平たわみ量⊿Xが異常に大きくなると，継手部から漏水が発生する可能性がある。このため農林基準の考え方に準じて，過度なたわみを防止するためたわみ量を制限することとして，許容たわみ率を定め，管厚中心直径２Rに対する率δ（＝⊿X/２R×100（%））で表すこととした。この考え方は水道指針でも同様である。 さらに，管内空虚時においては，管胴に作用する外圧の1.5倍が作用しても座屈しないことを確認する。しかし，上記のように，本基準で対象とする一般市販管はとう性管であり，管厚中心直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない。従って，一般的には空虚時に対する検討は省略可能とする。なお，空虚となる期間が比較的長く，施設の重要度が特に高い場合など，空虚時外圧に対する確認が必要と判断される場合には，適切な構造計算（解析）により，座屈しないことを確認するものとする。
4.12　振動に対する考慮	**(振動に対する考慮)** 第21条　主要耐圧部の設計は，発電所の運転に支障をきたすおそれのある振動が発生しないように考慮しなければならない。 【解 説】FRP(M)水圧管の振動には，管壁の曲げ振動と梁としての横振動とがある。水車や吸出管に水圧変動が発生し，その振動数がFRP(M)水圧管の固有振動数と一致するとき共振して顕著な振動を生ずる。FRP(M)水圧管の振動が著しい場合には，疲労等のおそれがあるので，振動の防止等適切な対策を図らなければならない。 水圧の振動の発生要因としては主に次のものがあげられる。 (1) 水車の回転数によるもの (2) ランナの羽根枚数によるもの (3) 吸出管内の水の旋回流によるもの 振動を防止するためには，FRP(M)水圧管だけでなく水車等の設計においても振動防止への配慮が必要である。設計段階においては，水圧管の固有振動数を算出し，それが前述した水圧変動の振動数の被害域の近傍にないことを確認する必要がある。 水圧変動の発生要因としては前述以外のものもあり，また，振動数の正確な予想は困難な場合が多く，かつ，微妙な条件により変動するので，設計の段階においてFRP(M)水圧管の固有振動数の計算値と水圧変動の振動数の推定値とに隔たりがあっても，運転後実際には振動が発生することもある。このような場合には，第78条に従って振動の軽減を図らなければならない。	**(振動に対する考慮)** 第21条　主要耐圧部の設計は，発電所の運転に支障をきたすおそれのある振動が発生しないように考慮しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第21条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.13　使用環境に対する考慮	**(使用環境に対する考慮)** 第22条　主要耐圧部の設計においては，使用環境によって著しい材質の劣化が発生しないよう配慮しなくてはならない。 〔解　説〕 FRP(M)管に影響を及ぼす可能性のある使用環境としては，火山地帯でみられる酸性水，岩盤埋設形式等でコンクリート巻立する場合のアルカリ性水，露出形式の場合の紫外線等がある。FRP(M)管は，これらの使用環境においても著しい材質の劣化等が発生しないよう配慮する必要がある。 FRPの耐食性は使用する樹脂やガラス繊維等の原材料によって異なるが，一般的傾向として，FRP管は酸にはよく耐えるが，アルカリに対しては耐性をあまり期待できないことが多い。このため，使用する環境条件によってはこれらの性質が問題になる場合も考えられるので，計画に当たっては十分な注意が必要である。 このような使用環境に対する配慮としては，樹脂やガラス繊維の原材料に耐食性の高い種類のものを用いたり，積層構造（保護層等）を適切に選定し，耐食層の厚みを増す等の対策を検討する必要がある（第53条参照）。管の製造後，外面に耐食性のよい樹脂によるコーティングを施工する方法もある。 また，必要に応じて促進試験等を行い管の耐薬品性を把握するとともに，管の使用応力を適切に評価しておくことが望ましい。促進試験では，寸法効果，試験温度等の試験条件に十分注意する必要がある。	**(使用環境に対する考慮)** 第22条　主要耐圧部の設計においては，使用環境によって著しい材質の劣化が発生しないよう配慮しなくてはならない。 〔解説〕 一般市販管に影響を及ぼす可能性のある仕様環境としては，火山地帯などで見られる酸性水，岩盤埋設形式等でコンクリート巻立する場合などのアルカリ性水，露出形式の場合の紫外線等がある。一般市販管による水圧管は，これらの使用環境においても著しい材質の劣化等が発生しないよう配慮する必要がある。 本基準で対象とする一般市販管は，酸性・アルカリ水などに対する耐薬品性に優れることが知られている。したがって，一般的な使用状況においては，酸性・アルカリ水などは問題とならない。ただし，特に強酸性・強アルカリ性の水あるいは土壌が存在する場合は別途考慮しなければならない。 塩ビ管については紫外線による劣化が懸念されるため，露出配管とする場合は適切な紫外線対策を施さなければならない。ポリ管やリブ管を露出配管する場合は，カーボンブラックの配合によって紫外線に対応することを基本とし，さらに，線膨張係数が大きいため，温度応力の発生，固定部や他の管との接合部の設計，継手の構造（伸縮継手を設けないなど）形式などについて適切に対応する必要がある。 本基準で対象とする一般市販管の温度特性から，通常程度の温度（45℃程度）まで対応できるが，一般に高温になるほど材料強度が低下する傾向があるため，比較的温度が高くなる場合は別途検討する必要がある。一方，低温に対しては，強度的には問題はないが，寒冷地では凍結深以下への埋設を基本とし，露出しなければならない箇所には適切な対応が必要となる。
4.14　摩擦に対する考慮	**(摩擦に対する考慮)** 第23条　主要耐圧部の設計において，管胴の磨耗が著しいと予想される場合には，適切な対策を施させなければならない。 〔解　説〕 FRP(M)水圧管の耐摩耗性は優れているといわれているが，なおかつ，管胴の磨耗が著しいと予想される場合は，材質の選定，耐摩耗層を設ける等の対策を施す必要がある。耐摩耗層とは，内面保護層を耐摩耗性を向上させる目的で材質を選定したり，厚みを増したりしたものである。内面保護層に用いるヴェールマット（veil mat）の材質としては，ポリエステル等の有機系のもの及びガラス繊維等の無機系のものがあるが，前者の方が耐摩耗性の点でより優れている。 FRP(M)管の耐摩耗性の検討は，新エネルギー財団[1]その他によって行われている。 FRP(M)管の耐摩耗性は，流速，流水中の土砂の量，質によって左右される。図-23-1は，FRP（保護層），普通鋼（SS400），タールエポキシ樹脂塗料（CTE）の3種の材質について，泥砂を含む流水中における平均摩耗率Iを測定した例である[2]。これによると，FRPと普通鋼とは同程度の摩耗率と考えてよい。ただし，普通鋼の場合はこれに腐食による管厚の減少が加わるため，例えば既設の調査によると，管厚の平均減少率は[illegible]0.01mm/年に達する。 なお，摩耗状況の管理のため，製造時に内面保護層を色分けすることも行われている。 図-23-1　泥砂を含む流水中における平均摩耗率I 1) 新エネルギー財団，水圧鉄管代替製品FRP(M)管［強化プラスチック複合管］等技術検討結果報告書，1985. 2) 中部電力株式会社，水圧管路材料としてのFRP(M)管に関する研究，1986.	**(摩擦に対する考慮)** 第23条　主要耐圧部の設計において，管胴の磨耗が著しいと予想される場合には，適切な対策を施させなければならない。 〔解説〕 本基準で対象とする一般市販管は耐摩耗性に優れた特性を持つことが試験により確認されているが，摩耗が予想される場合には管の肉厚を厚くし，摩耗代を確保するものとする。 本基準で対象とする一般市販管の耐摩耗性に関する検討は，塩化ビニル管・継手協会※1，(財)下水道新技術推進機構※2，(財)土木研究センター※3などの報告書などで公表されており，その結果から塩ビ管，ポリ管，リブ管の耐摩耗性はFRPより優れていることが確認されている。 ※1；塩化ビニル管・継手協会　「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」　4.4　耐摩耗性（P19） ※2；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管　建設技術審査証明（下水道技術）　報告書　添付資料4，5（広島大学報告書『ポリエチレン管の耐摩耗性』） ※3；(財)土木研究センター　「高耐圧ポリエチレン管　技術審査証明報告書」　6.2 耐摩耗性
4.15　継手の設計	**(継手の設計)** 第24条　継手の設計は次によるものとする。 (1)主要耐圧部と同等の強度を持つこと (2)主要耐圧部と組合せたとき，必用な水密性を持つこと。 〔解　説〕 継手の設計は原則として主要耐圧部と同様に行う。ただし，使用時の荷重状態が再現できる場合は，継手の強度を耐圧試験によって求めてもよいものとする。この場合，設計圧力は管の破壊圧力に対し適切な安全率をもたなければならない。安全率については第35条の規定を準用する。 水密性については，内圧作用時の継手及び主要耐圧部の相対変形を解析して水密性が保たれることを確認するか，又は水圧試験によって確認することができる。この場合，試験圧力は設計圧力の1.5倍以上とする。 なお，ここにいう耐圧試験及び水圧試験とは，継手の強度及び機能を確認するための試験であって，第[illegible]条に規定する製品の品質管理のための試験ではない。 1) [illegible]，既設水圧鉄管の腐食・強度に関する調査，電力土木，No.151，1977.	**(継手の設計)** 第24条　継手の設計は次によるものとする。 (1)主要耐圧部と同等の強度を持つこと (2)主要耐圧部と組合せたとき，必用な水密性を持つこと。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第24条に準拠する。 ⇒　水密性については，農林基準の考え方に準じて，設計水圧の2倍の試験圧力により水圧試験を実施して，継手部の水密性を確認する。 ⇒　塩ビ管の継手はゴム輪を基準とする。 ⇒　ポリ管の継手は溶接（EF融着またはバット融着）を基本とする。 ⇒　リブ管の継手はゴム輪あるいは溶接（EF融着または樹脂盛溶接）を基本とする。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
露出形式水圧管		
4.16　考慮する荷重	**(考慮する荷重)** 第25条　主要耐圧部の設計は，次の荷重に対して安全でなければならない。 　　内圧,管の質量,温度変化,排水時外圧,管内水の質量,雪荷重,地震力,風圧 【解　説】 主要耐圧部の管厚を決定する要素は，内圧による円周方向の引張応力が大部分であるが，長径間の場合は，管の質量・管内水の質量・温度変化等の要素が管厚に及ぼす影響も大きい。温度変化は，据付時の管の温度と通水後の水温の差をとり，一般的に温度降下15℃～20℃を見込む場合が多いが，寒冷地で施工時の気温が低い場合には温度上昇となることもあるので，気象並びに施工条件を考慮して決定する必要がある。 　FRP(M)水圧管は，熱伝導率が低く，[illegible]の融雪が期待できないため，通水・空虚時ともに雪荷重を考慮する必要がある。 　雪の密度は，地域によって大幅に異なるが，大体の目安を下記に示す1)。 　降りたての雪　[150 [kg/m³]] 　やや落ちついた雪　[300 [kg/m³]] 　圧縮された雪，又は多量に水を含んだ雪　[500～700 [kg/m³]] 　地震力・風圧は一般に主要耐圧部に直接与える影響は少ないため，支台及びアンカブロックの設計に考慮すればよい。(本章第45，46条参照) 1) 道路橋示方書・同解説による。	**(考慮する荷重)** 第25条　主要耐圧部の設計は，次の荷重に対して安全でなければならない。 　　内圧,管の質量,温度変化,排水時外圧,管内水の質量,雪荷重,地震力,風圧 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第25条に準拠する。 ⇒　塩ビ管は原則として埋設すべきであるが，露出配管とする場合や部分的に露出する場合は,紫外線から適切に防御されなければならない。 ⇒　ポリ管及びリブ管を露出配管とする場合や部分的に露出する場合は，適切なカーボンブラックの濃度が適量であることを確認するとともに，線膨張係数が大きいことから直射日光による管の変形（日射面で膨張し,反対の面が相対的に収縮する）する可能性があるため，適切に対応する必要がある。
4.17　荷重の組合せ	**(荷重の組合せ)** 第26条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 　1.管内満水時：内圧,管の質量,管内水の質量,雪荷重,温度変化,地震力,風圧 　2.管内充水時：管の質量,管内水の質量 　3.管内空虚時：排水時外圧,雪荷重 【解　説】 管内満水時の荷重としては，内圧が最も主要な荷重であるが，管の質量，管内水の質量，温度変化についても検討が必要である。 　管内充水時には管内水の質量により，管胴に円周方向の曲げモーメントが発生するので検討が必要である。この場合，FRP(M)水圧管は，サドルサポート形式であるので，この曲げモーメントは，管内が[illegible]の状態のときに最大となる。ただし，[illegible]ないと考えられる場合には，[illegible]を省略してもよい。管内空虚時には，[illegible]に対する検討が必要である。	**(荷重の組合せ)** 第26条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 　1.管内満水時：内圧,管の質量,管内水の質量,雪荷重,温度変化,地震力,風圧 　2.管内充水時：管の質量,管内水の質量 　3.管内空虚時：排水時外圧,雪荷重 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第26条に準拠する。
4.18　管と支台の摩擦係数	**(管と支台の摩擦係数)** 第27条　設計に用いる管と支台との摩擦係数の値は，表-27-1の値以上としなければならない 　　（以降省略）。 【解　説】 [illegible]に示すように，支台上での[illegible]はコンクリートとFRP(M)水圧管の管胴とが直接接触することは避け，緩衝材（ゴムその他）を介する場合が一般的であることから，その摩擦係数を表-27-1に示した。 　緩衝材にゴムを用いる場合，管胴の管軸方向変位は，多くの部分がゴムのせん断変形によって吸収されるものと思われる。この場合は，摩擦係数というよりもゴムのせん断変形抵抗というべきものであるが，管胴の設計上は，摩擦係数として扱っても差し支えない。	**(管と支台の摩擦係数)** 第27条　設計に用いる管と支台との摩擦係数の値は，下表の値以上としなければならない 表27-1 摩擦係数の値 **組合せ** ／ **摩擦係数** **コンクリート支承**　**0.60** **滑動補助材を有するコンクリートサドル**　**0.50** ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第27条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.19　応力の算定	**(応力の算定)** 第28条　第20条の主要耐圧部の設計においては，次の各号の応力を計算しなければならない （以降省略）。	**(応力の算定)** 第28条　第20条の主要耐圧部の設計においては，次の各号の応力を計算しなければならない 1．管内満水時 (1) 円周方向の応力 1) 内圧による引張応力 2) 管内水の質量等による円周方向曲げ応力 (2) 管軸方向の応力 1) 梁としての曲げ応力 2) 管の傾斜による応力 3) 継手に作用する内圧の管軸方向成分による応力 4) 管の温度変化による応力 5) 補剛材，アンカブロック等により管胴の変位が拘束されることによって生じる局部曲げ応力 (3) せん断応力 1) 梁としてのせん断応力 2．管内充水時 (1) 充水による円周方向の曲げ応力等 ⇒　考え方については基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第28条に準拠する。 ⇒　各応力の算出式については，農林基準または水道指針に準じてよい。その他，別の根拠の明確な計算式等によるものとする。 ⇒　農林基準および水道指針では，管路の埋設を前提としているため，せん断および管軸方向の強度に関する検討は記述されていない。従って，管軸方向の計算が必要な場合は，単層構造としてFRP(M)の計算方法を準用してよい。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.20　座屈強度	**(座屈強度)** 第29条　本章第20条の管内空虚時の設計については，外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。 〔解　説〕　補剛材の無い場合の管の限界座屈圧力は，弾性座屈とし次式で計算される。なお，以下に示す記号以外は，第[illegible]条解説による。 $P_k = \frac{2EI}{R_0^3}$ 設計外圧に対する安全率 S_f は， $S_f = \frac{P_k}{P_{eo}}$ ここに，P_k：管の限界座屈圧力 P_{eo}：管の設計外圧	**(座屈強度)** 第29条　本章第20条の管内空虚時の設計については，外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。 〔解説〕 本基準で対象とする一般市販管はとう性管であり，管厚中心直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない。従って，一般的には空虚時に対する検討は省略可能とする。 なお，空虚となる期間が比較的長く，施設の重要度が特に高い場合など，空虚時外圧に対する確認が必要と判断される場合には，適切な構造計算（解析）により，座屈しないことを確認するものとする。
岩盤埋設形式水圧管		
4.21　考慮する荷重	**(考慮する荷重)** 第30条　主要耐圧部の設計は内圧,温度変化,外圧に対して安全でなければならない。 〔解　説〕　主要耐圧部の管厚を決定する荷重は，内圧による円周方向の引張応力が大部分である。また，外圧と温度変化が管厚に及ぼす影響も大きい。 管胴には，静水時の内圧，さらに，埋設部分には地山の浸透水圧が，また，施工時にはコンクリート圧，注入グラウト圧が作用する。FRP(M)水圧管は，これらを考慮して起こりうる最大の外圧に対して耐えうる構造としなければならない。FRP(M)水圧管は，〔補足資料2〕で解説するとおり，材料特性として常温でクリープが発生し，特に外圧が大きく長期に渡り管内が空虚である場合には，クリープによる座屈に対して第33条に示す配慮が必要である。 地山の浸透水圧は，予想される地下水位による外圧をとるものとするが，鉄管の周辺に排水設備を設置して外圧を減少させる措置を行えば，設計圧力を減らすことができる。 施工時の打設コンクリート圧による管の変形に対しては，管内面のジグザグその他の支保工，あるいは補剛材により防止するのが通常である。 温度変化は，据付時の管の温度と通水後の水温の差をとり，一般的に温度降下は15℃～20℃を見込む場合が多いが，寒冷地で施工時の気温が低い場合には，温度上昇となることもあるので，気象並びに施工条件を考慮して決定する必要がある。	**(考慮する荷重)** 第30条　主要耐圧部の設計は内圧,温度変化,外圧に対して安全でなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第30条に準拠する。
4.22　荷重の組合せ	**(荷重の組合せ)** 第31条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 1.管内満水時：内圧,温度変化 2.管内空虚時：外圧 〔解　説〕　管の[illegible]は，管軸方向に連続してコンクリートで支持されているため，管自重及び管内水の重量を考慮する必要はなく，満水時には内圧と温度変化，管内空虚時には外圧に対して検討すればよい。なお，埋込みコンクリート打設時においては，打設圧に対して自由座屈の検討を行い，安全性を確認する必要がある。	**(荷重の組合せ)** 第31条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 1.管内満水時：内圧,温度変化 2.管内空虚時：外圧 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第31条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.23　応力の算定	**(応力の算定)** 第32条　第31条の満水時における主要耐圧部の設計においては,次の各号の応力を計算しなければならない。 (1)円周方向の応力 1)内圧による引張応力 (2)管軸方向の応力 1)継手に作用する内圧の管軸方向成分による応力 2)管の温度変化による応力 3)補鋼材等により管胴の変位が拘束されることによって生ずる局部曲げ応力 (3)せん断応力 1)局部曲げに伴うせん断応力 [illegible]	**(応力の算定)** 第32条　第31条の満水時における主要耐圧部の設計においては,次の各号の応力を計算しなければならない。 (1)円周方向の応力 1)内圧による引張応力 (2)管軸方向の応力 1)継手に作用する内圧の管軸方向成分による応力 2)管の温度変化による応力 3)補剛材等により管胴の変位が拘束されることによって生ずる局部曲げ応力 (3)せん断応力 1)局部曲げに伴うせん断応力 ⇒　考え方については基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第32条に準拠する。 ⇒　各応力の算出式については，単層構造としてFRP(M)の考え方に準拠するか，別の根拠の明確な計算式等によるものとする。
4.24　座屈強度	**(座屈強度)** 第33条　本章第20条の管内空虚時の設計については,外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。 [illegible]	**(座屈強度)** 第33条　本章第20条の管内空虚時の設計については,外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。 ⇒　第２９条に準じる。
土中埋設形式水圧管		
4.25　考慮する荷重	**(考慮する荷重)** 第34条　主要耐圧部の設計は，次の荷重に対して安全でなければならない。 内圧，土圧，載荷重，温度変化，排水時外圧，管内水の質量，雪荷重 [illegible]	**(考慮する荷重)** 第34条　主要耐圧部の設計は，次の荷重に対して安全でなければならない。 内圧，土圧，載荷重，温度変化，排水時外圧，管内水の質量，雪荷重 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第34条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.26　荷重組合せ	**(荷重組合せ)** 第35条　前条の荷重は，次の各号の組合せについて考慮しなければならない。　（以下略） 【解　説】　土中埋設管の場合，管内満水時の最も主要な荷重は，内圧及び土圧であるが，道路下に敷設される場合等には車両による載荷重も考慮する必要がある。 管内充水時は，土圧，載荷重，管内水の質量が主要な荷重である。 管内空虚時に，土圧，載荷重の他に排水時に管内外の圧力差が生じるおそれがある場合には外圧の検討も必要である。また，いずれの場合にも，多雪地域では雪荷重に対する検討が必要である。	**(荷重の組合せ)** 第**35**条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて考慮しなければならない。 1.管内満水時：内圧,土圧，載荷重，管内水の質量,温度変化,雪荷重 2.管内充水時：土圧，載荷重，管内水の質量,雪荷重 3.管内空虚時：土圧，載荷重，雪荷重，排水時外圧 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第35条に準拠する。
4.27　埋設条件	**(埋設条件)** 第36条　管は原則として掘削溝に敷設し，土質材料及びこれに類する材料で埋め戻し，設計条件に合致した管の支持条件が得られるように十分締固めるものとする。 ２．管を埋設する地盤は必用な支持力があり，管に支障をきたすような不等沈下のない良好な地盤でなければならない。 【解　説】　管を公道に敷設する場合は，道路法並びに関係法令によるとともに道路管理者との協議による。 管は，原則として掘削溝に敷設し，砂質土で埋戻し締固めるものとする。 埋設深さは，地質，地盤の状況，載荷重，地下水位，積雪量などを考慮して決定する。 地下水位が高く管内空虚時に浮力が作用するおそれがある場合には，管上部の土かぶりを深くし，寒冷地では凍結深度より深く埋設する。 地盤は，管自重及び管内水の質量を支持するのに必要な支持力があり，不等沈下が少なく，良好な地盤を選定する配慮が必要である。 埋戻しに用いる材料は，管底から管の頂部30cm程度までの範囲については，石や木片等の異物を含まない砂，又は砂質土を用いるものとし，それ以上の範囲は，現地発生土を用いてもよい。 締固めは埋設後の管の応力状態に直接影響するので，十分な施工管理が必要である。 締固めの時の一層のまき出し厚さは，20cm程度以下とし，突棒或は振動機が十分に到達できるように振動コンパクタなどで締め固めるものとし，地盤の透水排水性が良好な場合には，水締めを行っても良い。	**(埋設条件)** 第36条　管は原則として掘削溝に敷設し，土質材料及びこれに類する材料で埋め戻し，設計条件に合致した管の支持条件が得られるように十分締固めるものとする。 ２．管を埋設する地盤は必用な支持力があり，管に支障をきたすような不等沈下のない良好な地盤でなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第36条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.28　応力の算定	**(応力の算定)** 第37条　主要耐圧部の設計は,それぞれ次の各号の応力に対して安全でなければならない (以下省略)。 ［解説］ [illegible] 1.　管内満水時 (1)　円周方向応力 1)　内圧による引張応力 [illegible] 2)　土圧、載荷重および雪荷重による曲げ応力 [illegible] 図-37-1　土圧分布モデル 表-37-1 [illegible] 表-37-2 [illegible] 表-37-3 [illegible] 図-37-2 [illegible] 表-37-4 [illegible] 表-37-5 [illegible]	**(応力の算定)** 第37条　主要耐圧部の設計は，それぞれ次の各号の応力に対して安全でなければならない。 1．管内満水時 (1) 円周方向の応力 1) 内圧による引張応力 2) 土圧，載荷重，雪荷重及び管内水による曲げ応力 (2) 管軸方向の応力 1) 管の温度変化による応力 2) 管を梁として考えたときの載荷重による曲げ応力 (3) 管軸に垂直な方向のせん断応力 1) 管を梁として考えたときの載荷重によるせん断応力 2．管内充水時 1) 管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重による円周方向曲げ応力 3．管内空虚時 1) 土圧，載荷重，雪荷重によるによる円周方向曲げ応力 2) 外圧によるたわみ率（変形率） 〔解説〕 本条に対応した安全性を確認するため，適切な方法により応力及びたわみ率を計算する必要がある。 本基準(案)で対象とする一般市販簡易ついては，農林基準や水道指針に計算方法が記載荒れているため，これらの方法を用いてよい。ただし，安全率の考え方に合わせて，計算方法を選定する必要がある。つまり，農林基準に準じて安全率を設定した場合は農林基準に示される計算方法を利用し，水道指針に準じて安全率を設定する場合は，水道指針に示される計算方法を用いることとする。 なお，本基準(案)で対象とする一般市販管はいずれも ”とう性管 ”であり，管厚中心直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない特性を有している。しかし，水平たわみ量が異常に大きくなると，継手部からの漏水を誘発したり，必要な通水断面が確保できなくなる可能性がある。 これを防止するため，農林基準や水道指針ではたわみ量を制限することとし，許容たわみ率を定めて外圧に対して適性に抵抗できる管圧を計算することとしている。実際には許容たわみ率を5%ととし，農林基準の場合はこれに施工のばらつきを考慮して設計たわみ量を定めている（第18条　解説の表を参照）。一方，水道指針では施工によるばらつきを考慮せず,5%のたわみについて必要な管厚を計算する。 したがって，本基準(案)においては，この農林基準あるいは水道指針の考え方に応じて，外圧が作用したときのたわみ率が規定値以下になることを確認するものとする。 また，農林基準および水道指針では，管の埋設を前提としているが，管軸方向の検討及びせん断に対する検討は規定されていない。したがって，管軸方向の検討及びせん断に対する検討が特に必要と判断される場合には，単層構造としてFRP(M)編に準じて検討を行うか，別の根拠の明確な設計方法に準じても良い。 さらに，地震に対する考慮は，基本的にFRP(M)管の考え方に準じるものとする。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

<table>
<tr><th>項　目</th><th>FRP(M)管
(水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)</th><th>一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）</th></tr>
<tr><td>4.28　応力の算定</td><td>
(c) 雪荷重
多雪地域で雪荷重による応力が大きい場合に考慮する。
$W_{sn}=\rho_{sn}\cdot g\cdot H_{sn}$
ここに，W_{sn}：雪荷重 (N/mm²) [kgf/cm²]
ρ_{sn}：雪の密度 (kg/mm³)
g：単位質量当りの重力 (9.8N/kg)
H_{sn}：積雪深さ (mm) [cm]
(2) 管軸方向の応力
1) 管の温度変化による応力
鋼管編による。
2) 管を梁と考えたときの鉛直荷重による曲げ応力
弾性床上の梁とし，計算式は(社)土木学会「構造力学公式集」等を参照のこと。
(3) 管軸に垂直な方向のせん断応力
管を梁と考えたときの鉛直荷重によるせん断応力
上記(2)-2)に示した資料等を参照すること。
2. 管内充水時
(1) 管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重による円周方向曲げ応力
$\sigma_{bf}=\frac{M_f}{EI_t}E_h\eta_1$
ここに，σ_{bf}：土圧，載荷重，雪荷重，及び水重による円周方向曲げ応力 (N/mm²) [kgf/cm²]
M_f：土圧，載荷重，雪荷重，及び水重による曲げモーメント (N・mm/mm) [kgf・cm/cm]
最大曲げモーメントは，次式で算出される。
$M_f=K_1\cdot W\cdot r_m^2+K_2\cdot \rho_w\cdot g\cdot r_m^3-0.083e'\cdot \Delta X_f\cdot r_m$
ρ_w：水の密度 (1×10⁻⁶kg/mm³)
ΔX_f：土圧，載荷重，雪荷重及び水重による水平たわみ量 (mm) [cm]
$\Delta X_f=\frac{2K\cdot W\cdot r_m+2K_2\cdot \rho_w\cdot g\cdot r_m^2}{EI_t/r_m^3+0.061e'}$
3. 管内空虚時
(1) 土圧，載荷重，雪荷重による円周方向曲げ応力
$\sigma_{be}=\frac{M_e}{EI_t}E_h\eta_1$
σ_{be}：土圧，載荷重及び雪荷重による円周方向曲げ応力 (N/mm²) [kgf/cm²]
M_e：土圧，載荷重及び雪荷重による曲げモーメント (N・mm/mm) [kgf・cm/cm]
最大曲げモーメントは，管底に生じ，次式で計算される。
$M_e=K_1\cdot W\cdot r_m^2-0.083e'\cdot \Delta X_e\cdot r_m$
ΔX_e：土圧，載荷重及び雪荷重による水平たわみ量 (mm) [cm]
$\Delta X_e=\frac{2K\cdot W\cdot r_m}{EI_t/r_m^3+0.061e'}$
(2) 土圧，載荷重，雪荷重によるたわみ率（変形率）
$\varepsilon=F\cdot \frac{\Delta X_e}{2r_m}$
ε：管内空虚時のたわみ率
F：変形遅れ係数 (1.0～1.5)
変形遅れ係数Fは，管のたわみ率が埋設後埋戻し施工の状況によって経時的に変化することを考慮した係数であり，「石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示」(通商産業省告示)では，
・十分締固まった砂，もしくは砂質土の地盤に埋設する場合　1.0
・管の周囲が管の半径以上の幅にわたり砂，もしくは砂質土で置換されて十分締固めてある場合　1.0
・その他の場合　1.5
としている。
上式によって計算したたわみ率εの値が表-37-6に示す設計たわみ率Vを超えないように管厚を選ぶ。

表-37-6　設計たわみ率　(%)
<table>
<tr><th>締固めの程度</th><th>締固めなし</th><th>締固めⅠ</th><th>締固めⅡ</th></tr>
<tr><td>許容たわみ率</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>たわみ率のバラツキ</td><td>±2</td><td>±2</td><td>±1</td></tr>
<tr><td>設計たわみ率V</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td></tr>
</table>
4. 地震に対する考慮
一般に，土中埋設管に対する地震の影響は，地上構造物に比べて小さいので，地震に対する検討を省略してもよいが，軟弱地盤に埋設する場合や表層地盤が特に弱い場合には，地震による地盤の変位を考慮した応答変位法等により，耐震性の確認を行う必要がある。応答変位法による耐震設計法には(社)日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説」(1979年度版)等がある。

通産省，石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示5．
</td><td>《余白》</td></tr>
<tr><td>4.29　座屈強度</td><td>
(座屈強度)
第38条　本章第37条の管内空虚時の設計については、外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。

〔解　説〕 管内空虚時において，管の限界座屈圧力は，設計外圧に対し1.5倍の安全率をもつように設計しなければならない。限界座屈圧力の計算式の例を示す。以下に示す記号以外は，第36条解説による。
土中埋設管の限界座屈圧力は，周囲の土の拘束を考慮した次式によって求めることができる[1]。
$P_k=\frac{3(n^2-1)EI_t}{R_0^3}+\frac{\beta\cdot r_m}{2(n^2-1)}$
ここに，P_k：管の限界座屈圧力
β：埋戻し土を弾性物体と考えた場合の抗力係数 (N/mm²/mm) [kgf/cm²/cm]
n：座屈波形の数
(n=2, 3, 4, …の整数でP_kを最小にする値)

表-38-1　抗力係数βの値 (N/mm²/mm)
<table>
<tr><th>埋戻し土の種類</th><th>締め固め</th><th>β</th></tr>
<tr><td>関東ローム</td><td>せず</td><td>0.49×10⁻²</td></tr>
<tr><td></td><td>不完全</td><td>0.78×10⁻²</td></tr>
<tr><td></td><td>完全</td><td>1.67×10⁻²</td></tr>
<tr><td>砂</td><td>せず</td><td>1.27×10⁻²</td></tr>
<tr><td></td><td>完全</td><td>11.26×10⁻²</td></tr>
<tr><td>砂質土</td><td>せず</td><td>1.67×10⁻²</td></tr>
<tr><td></td><td>完全</td><td>7.86×10⁻²</td></tr>
<tr><td>粘土</td><td>せず</td><td>3.34×10⁻²</td></tr>
</table>
1) 藤田博愛，大口径鋼管の設計上の問題点とその合理的管厚算定法について，日本水道協会　会誌　No.318，1961．
</td><td>
(座屈強度)
第38条　本章第37条の管内空虚時の設計については、外圧による限界座屈圧力に対して安全でなければならない。

⇒　第29条に準じる
</td></tr>
<tr><td>異形管等</td><td></td><td></td></tr>
</table>

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
4.30　曲管	**(曲　管)** 第39条　曲管部の曲率半径は管内径の3倍以上とし，各節ごとの角度の振りは7°以下としなければならない。ただし，直角曲管，分岐管，その他やむをえない場合は，曲率半径を管内径の2倍以上とすることができる。 〔解　説〕 管路の方向が変化する位置には曲管が必要となる。曲管の管中心線の曲率半径R，管内径D，及び損失水頭の関係については多数の実験結果があるが，Anderson及びStraub[1]がこれらを再検討して調整した値によると，R/Dの増加とともに損失係数は減少し，R/Dが3以上になれば相当小さくなる。このため，R/Dをあまり大きくすると曲管長が増加し経済的でなくなる。また，直角曲管，分岐管においては，適切な曲率半径をとるだけの空間が得られない場合がしばしばあるので，このような場合には曲率半径を管内径の2倍以上としてもよいものとした。 また，なめらかな円弧状の管（スムースベンドと呼ばれる）を製作することは製造上困難なことが多く，通常，各部分ごとに斜めに切断した円筒管を溶接した折れ管（海老鋼管又はマイタベンドと呼ばれる）として製作される。曲管部における各節の角度の振りは小さいほどなめらかな曲管に近付き，損失水頭は減少することが知られている。したがって，施工性及び経済性から従来より妥当とされている7°以下の振り角度を本条に規定したが，揚水発電所のように水頭の損失が非常に重要な場合は4°～5°程度に設定することが望ましい。 ＦＲＰ(M)管は，小口径の場合，スムースベンドが既製品としてあるので，これを利用することができる。ただし，R/Dがかなり大きいことと曲がり角度が決まっていることに注意する。マイタベンドの場合は，管胴の接合箇所（角折れ部）には，形状の不連続による2次応力が生ずるので，図-39-1に示すフローチャートのようにＦＥＭ等による解析を実施して，2次応力を評価し，必要な場合にはＦＲＰ積層等により適切な補強を行うものとする。さらに補強のみでは不十分の場合，各節ごとの角度の変更を検討しなければならない。 1)　Anderson, A. G. and Straub, L.: Hydraulics of conduit bends, St. Anthony Fall Hydraulic Laboratory, Bulletin No.1, Dec. 1948. 接合箇所のモデル化 → 接合箇所の発生応力（1次＋2次）評価（ＦＥＭによる応力集中性解析等） → No：接合箇所の補強方法検討 / Yes：曲管の発生2次応力評価 → OK 図-39-1　2次応力を考慮した解析のフローチャート ＦＲＰ(M)水圧管において曲管を検討する場合，前記の2次応力の他，その製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を十分に考慮しなければならない。その結果，ＦＲＰ(M)管で曲管を製作することが不利であると考えられる場合は，鋼管等を用いる必要がある。鋼管を用いる場合は「水門鉄管技術基準」に準拠する。	**(曲　管)** 第39条　曲管部の曲率半径は管内径の3倍以上とし，各節ごとの角度の振りは7°以下としなければならない。ただし，直角曲管，分岐管，その他やむをえない場合は，曲率半径を管内径の2倍以上とすることができる。 ⇒　「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第39条に準拠する。 ⇒　第2条解説6及び7に準じた既製品または特注品を使用することができる。また，形状の不連続による2次応力や，製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による概観等を考慮し，鋼管やFRP(M)性の曲管を用いることができる。鋼管及びFRP(M)を用いる場合は，「水門鉄管技術基準」に準拠する。 ⇒　既製品の曲管を使う場合は，損失水頭の増加やその他の問題について十分に検討したうえ，やむをえない場合は曲率半径が管内径の２倍以下の製品も利用できるものとする。 ⇒　ポリ管やリブ管（溶接継手）においては，第2条解説6及び7の基準に準じた許容曲げ半径による曲線配置を可能とする。 ⇒　塩ビ管，ポリ管（ゴム輪継手）においては，原則として直線配置を基本とする。ただし，現場状況に応じ，特に問題がない場合は，管の継手部を許容曲げ角度内に設定することによって小角度の曲線配置とすることができる。この場合は，設定角度における継手の水密性および抜け防止について確認するとともに，適切に施工されなければならない。
4.31　漸縮管	**(漸縮管)** 第40条　漸縮管は,作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。また,水流に対しても水理的な配慮がなされなければならない。 〔解　説〕 漸縮管は，内外圧を受ける円錐シェルとして計算すればよい。管端部の影響がない場合，円錐シェルの単位長さ当たりに作用するフープテンションは次式で与えられる。 $N=\frac{P\cdot r}{\cos\theta}$ ここに，N：円錐シェルの単位長さ当たりに作用するフープテンション P：設計圧力 r：計算する位置における円錐シェルの半径 θ：円錐シェルの半頂角 すなわち，rが等しければ円錐の頂角が大きいほどフープテンションも大きくなる。 水理的な観点からは，第4条に述べたように，円錐の頂角を大きくすると水頭損失が大きくなるので，適切な角度を選ぶ必要がある。 また，漸縮管の始端，終端において，管胴の接合箇所（角折れ部）には，形状の不連続による2次応力が発生するので，曲管の場合と同様な解析を行って，ＦＲＰ積層等による適切な補強を施す必要がある。 ＦＲＰ(M)管の漸縮管は既製品がないので，新たに型を製作して製造しなければならない。このため，ＦＲＰ(M)水圧管において漸縮管を検討する場合，その製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を十分に考慮しなければならない。その結果，ＦＲＰ(M)で漸縮管を製作することが不利であると考えられる場合は，鋼管等を用いる必要がある。鋼管を用いる場合は「水門鉄管技術基準」に準拠する。	**(漸縮管)** 第40条　漸縮管は,作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。また,水流に対しても水理的な配慮がなされなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第40条に準拠する。 ⇒　第2条解説6及び7に準じた既製品または特注品を使用することができる。また，形状の不連続による2次応力や，製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を考慮し，鋼管やFRP(M)性の漸縮管を用いることができる。鋼管及びFRP(M)を用いる場合は，「水門鉄管技術基準」に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

<table>
<tr><th>項　目</th><th>FRP(M)管
（水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)</th><th>一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）</th></tr>
<tr><td>4.32　分岐管</td><td>(分岐管)
第41条　分岐管は，作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。また,水流に対しても十分な配慮がなされなければならない。</td><td>(分岐管)
第41条　分岐管は，作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。また,水流に対しても十分な配慮がなされなければならない。

⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第41条に準拠する。
⇒　第2条解説6及び7に準じた既製品または特注品を使用することができる。また，形状の不連続による2次応力や，製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を考慮し，鋼管やFRP(M)製の分岐管を用いることができる。鋼管及びFRP(M)を用いる場合は，「水門鉄管技術基準」に準拠する。</td></tr>
<tr><td>4.33　付属設備設置に伴う欠損部の補強</td><td>(付属設備設置に伴う欠損部の補強)
第42条　付属設備,その他の設備の設置に伴い,主要耐圧部に欠損が生じるときに、これにより著しい応力集中が欠損部に生じて弱点となる場合は,補強しなければならない。</td><td>(付属設備設置に伴う欠損部の補強)
第42条　付属設備,その他の設備の設置に伴い,主要耐圧部に欠損が生じるときに、これにより著しい応力集中が欠損部に生じて弱点となる場合は,補強しなければならない。

〔解説〕
管胴にマンホール，空気管または空気弁，バイパス管，排水管等の付属設備や測水装置，水圧計，給水管等を取り付けるために欠損部を設ける場合，欠損部の周辺には応力集中が生じる。
この応力集中の最大値は欠損部（穴）の周辺で起こり，これからへだたるにしたがって急減し，欠損部の中心から欠損部半径の2倍程度離れた位置で応力集中の影響はほとんどなくなる。これらの著しい局部応力集中が管胴の許容応力を超えて弱点となる場合には欠損部の周辺を補強しなければならない。
補強方法についてはFRP(M)編に示される例が参考になるが，補強にかかるコストや外観等を考慮し，鋼管やFRP(M)製による代替を考えることができる。鋼管及びFRP(M)を用いる場合は，「水門鉄管技術基準」に準拠する。</td></tr>
<tr><td>5　付属設備</td><td></td><td></td></tr>
</table>

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
5.1　継手	**(継　手)** 第43条　FRP(M)管の継手は，原則としてJIS A 5350のC，T，B，D形に従うものとし，FRP管の継手はこれらに準拠するものとする。ただし，十分な検討を加えた場合は，これら以外のものも使用することができる。	**(継　手)** 第43条　一般市販管による水圧管の継手は，原則として第2条に示す基準に準拠したものとする。ただし，十分な検討を加えた場合は，これら以外のものも使用することができる。 〔解説〕 1．一般市販管の継手 塩ビ管の継手は，第2条解説6及び7の規定に適合する硬質塩化ビニル製のゴム輪継手を標準とする。 ポリ管の継手は，第2条解説6及び7の規定に適合するEF継手又はバット融着によるものを標準とする。 リブ管の継手は，第2条解説6及び7の規定に適合する高密度ポリエチレン製のゴム輪継手，EF継手又は樹脂盛り溶接継手を標準とする。 また，水密製，疲労，劣化等に対し十分な検討を行った場合は，上記以外のものを使用することができる。 2．異種管との継手 異なる一般市販管同士，一般市販管と鋼管やFRP(M)管とを接合するような場合には，メカニカル継手あるいはフランジ継手を用いるものとする。これらの継手については，十分な強さと水密性をもつ構造としなければならない。 3．ポリ管のバット融着部の内面処理 ポリ管をバット融着により継いだ場合，管の内面に肉盛状のこぶ（内ビード）が生じる。このこぶが管路内の流れに乱れを発生させ，不要な損失水頭を生む可能性がある。したがって，必要に応じてこの内面のこぶ（内ビード）を取り除くものとする。 なお，水道指針においては，この内面こぶ（内ビード）の削除を規定していない（そのままで良い）。
5.2　伸縮継手	**(伸縮継手)** 第44条　FRP(M)水圧管は，管の伸縮や変位が大きい場合等には，必要に応じて伸縮継手を設けなければならない。	**(伸縮継手)** 第44条　一般市販管による水圧管は，管の伸縮や変位が大きい場合等には，必要に応じて伸縮継手を設けなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第44条に準拠する。 ⇒　ポリ管やリブ管（EF継手又は樹脂盛り溶接による継手）では，伸縮継手を設けても温度変化に応じた伸縮が継手部分で適切に吸収されず，管本体に想定外の負荷が掛かって思わぬ損傷を与えることがある。したがって，ポリ管やリブ管（融着接合）の場合は，原則として伸縮継手は用いないものとする。
メカニカル継手 [鋼管]	(メカニカル継手) 第40条　メカニカル継手は，十分な強さ及び水密性をもつ構造としなければならない。 2．メカニカル継手を使用する場合，メカニカル継手で接続された各単位管ごとに固定しなければならない。 3．メカニカル継手は，使用形式について工場で設計水圧の1.3倍の圧力で水圧試験を行い，水密性を確認しなければならない。	《第43条で記述》

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
フランジ継手 [鋼管]	(フランジ継手) 第41条　フランジ継手は，十分な強さ及び水密性をもつ構造としなければならない。 〔解　説〕 フランジ継手はバルブ，ノズル等の取合部に使われており，フランジの規格も種々のものが定められている。JIS B 2210「鉄鋼製管フランジの基準寸法」，JIS B 2220「鋼製溶接式フランジ」には圧力段階別に寸法が決められており，使用範囲に応じてこれらを適用すればよい。また，基準寸法にないフランジの場合は，JIS B 2205「管フランジの計算基準」，又はJIS B 8243「圧力容器の構造」に記載されている計算方法等によって応力計算を行い，これらが本基準の材質に応じた許容応力内にあればよい。 フランジ継手を水圧鉄管支持台の中間部で使用し，フランジ継手部に曲げが生じたり，内圧による軸力以外の軸力が生じる場合は，これらの荷重を考慮してフランジの設計を行わなければならない。 フランジ面には，ガスケット継輪がよく用いられている。ガスケットの寸法，材質及び形式は，内径及び使用圧力に応じて決定されるべきであり，JIS B 8243「圧力容器の構造」，JIS B 2202「管フランジのガスケット座寸法」を参考にするとよい。	《第43条で記述》
5.3　水圧管の補剛	**(水圧管の補剛)** 第45条　FRP(M)水圧管は，必要に応じて補剛するものとする。 〔解　説〕 FRP(M)水圧管において，外圧が特に大きい場合等，管胴のみの剛性では不足するときは補剛する必要がある。 FRP(M)水圧管の補剛方法としては，部分的に管厚を増厚させる方法や，管胴に補剛のための部材を取付ける方法が考えられる。これらの増厚部分や補剛のための部材を，FRP(M)水圧管の補剛材と呼ぶ。 補剛材の取付方法としては，HLU方法等により積層する方法や，接着剤を用いる方法等があり，その材料としてはFRPの他に鋼材等も可能である。 補剛材を設置する場合は，必要な強さ及び剛性を持ち，かつ管胴と一体になるような構造，材料を選ぶ必要がある。また，補剛材の強度計算は，管胴と補剛材が一体であると仮定した断面で行い，補剛材の形状を決定した後，作用するせん断力に対し接合部が安全であるか否かの評価を行えばよい。さらに，[illegible]にて述べたように局部応力の特性を十分把握する必要もある。	**(水圧管の補剛)** 第45条　一般市販管による水圧管は，必要に応じて補剛するものとする。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第45条に準拠する。
5.4　スラストカラ	**(スラストカラ)** 第46条　FRP(M)水圧管には，必要に応じてスラストカラを設けなければならない。 ２．スラストカラは必用な強さを持ち，かつ，主要耐圧部と一体となるような構造としなければならない。 〔解　説〕 管軸方向の推力（スラスト）に対しては，スラストカラ又はその他の方法により，支台，アンカブロックとFRP(M)水圧管を定着させ，荷重を下部工へ伝達させる必要がある。 FRP(M)水圧管においては，露出して傾斜設置される水圧管の自重による管軸方向の推力に対抗するためのスラストカラが採用されることがある。 その構造例を図-46-1に示す。スラストカラの製作方法としては，管本体の製作後，HLU方法等により製作する方法と，別途スラストカラのみを製作し，接着剤で管胴に接着する方法とがある。いずれの場合もスラストカラは必要な強さを持ち，かつ，主要耐圧部と一体となるような構造としなければならない。スラストカラ及びその取付部の強度計算については[illegible]に同様に行えばよい。また，スラストカラは，FRP(M)水圧管の管胴に管軸方向の圧縮力を生じさせないよう，上流側に設置することが多い。 図-46-1　スラストカラの構造例[1] 1)　新エネルギー財団，FRPM管等，管路設計・施工マニュアル（案），p.81，1989.	**(スラストカラ)** 第46条　FRP(M)水圧管には，必要に応じてスラストカラを設けなければならない。 ２．スラストカラは必用な強さを持ち，かつ，主要耐圧部と一体となるような構造としなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第46条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
5.5 マンホール	**(マンホール)** 第47条　FRP(M)水圧管は，必要に応じ，管長・管径・傾斜等を考慮して保守に必要なマンホールを設けなければならない（以降略す）。 〔解説〕ＦＲＰ(M)水圧管には，保守点検上マンホールを必要とするが，管長，管径，傾斜等によってその位置が決定される。マンホールの取付位置は主として出入りが容易なように決められるが，管の両側上，上方又は斜め下方が一般に採用されている。 マンホールの設計において，ガラス繊維を切断するような構造の場合は，第42条にしたがって管胴のＦＲＰ補強をすればよい。しかし，作用圧力が高い場合等では，ＦＲＰ補強に代わる別の構造や，別の材質を選定する方が実用的な場合がある。例えば，ＦＲＰ(M)水圧管の一部に取外し可能な鋼製の単管を設置する，などが考えられる。 また，鋼製とする場合は，「水門鉄管技術基準」水圧鉄管編第42条に準拠する。	**(マンホール)** 第47条　一般市販管による水圧管は，必要に応じ，管長・管径・傾斜等を考慮して保守に必要なマンホールを設けなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第47条に準拠する。
5.6 空気管及び空気弁	**(空気管及び空気弁)** 第48条　FRP(M)管水圧管には，必要に応じて空気管又は空気弁を設けるものとする。 〔解説〕「水門鉄管技術基準」水圧鉄管編第43条に準拠する。	**(空気管及び空気弁)** 第48条　一般市販管による水圧管には，必要に応じて空気管又は空気弁を設けるものとする ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第48条に準拠する。
5.7 制水弁，バイパス管(弁)	**(制水弁，バイパス管(弁))** 第49条　FRP(M)水圧管には，必要に応じて制水弁，バイパス管及びバイパス弁を設けるものとする。 〔解説〕制水弁の種類としては，次のようなものがある。 ゲートバルブ バタフライバルブ ロータリーバルブ 制水弁に発生するスラストは，制水弁から直接下部工へ伝達できる構造とし，ＦＲＰ(M)水圧管にスラストを伝達させないことを原則とする。 ＦＲＰ(M)水圧管において，水路の水門扉，制水弁の近傍に設けられ，その開閉力を小さくするため，あるいは水路内を徐々に充水する目的で設けられる管をバイパス管と呼び，バイパス管に取り付けられる弁をバイパス弁と呼ぶ。 ＦＲＰ(M)水圧管にバイパス管を設置する場合，ＦＲＰ(M)水圧管の管胴に欠損部が生じる。この欠損部の補強は第42条に従えばよい。	**(制水弁，バイパス管(弁))** 第49条　一般市販管による水圧管には，必要に応じて制水弁，バイパス管及びバイパス弁を設けるものとする。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第49条に準拠する。
5.8 排水管及び排水弁	**(排水管及び排水弁)** 第50条　FRP(M)水圧管には，必要に応じて排水管及び排水弁を設けるものとする。 〔解説〕ＦＲＰ(M)水圧管において，水圧管内の水，砂，泥等を排除するために設置する管を排水管と呼び，排水管に取付けられる弁を排水弁と呼ぶ。 ＦＲＰ(M)水圧管に排水管を設置する場合，ＦＲＰ(M)水圧管の管胴に欠損部が生じる。この欠損部の補強は第42条に従えばよい。	**(排水管及び排水弁)** 第50条　一般市販管による水圧管には，必要に応じて排水管及び排水弁を設けるものとする。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第50条に準拠する。
5.9 支台の支障部	**(支台の支障部)** 第51条　支台の支障部はFRP(M)水圧管が伸縮に際して安全に,かつ円滑に移動できるような構造としなければならない。 〔解説〕ＦＲＰ(M)水圧管の支持形式としては，サドルサポート形式が一般的であるが，コンクリートに直接接触して支持することは好ましくなく，コンクリート上面にゴムなどの緩衝材を設置するか，管と支台との間にサドルプレートを入れた構造とする。 管の支持方法としては，支台における管の変形を少なくし，かつ温度変化及び内圧等による管の軸方向の伸縮に対して管が容易に移動できる構造でなければならない。各種支承の摩擦係数は第27条に従う。	**(支台の支障部)** 第51条　支台の支障部は一般市販管による水圧管が伸縮に際して安全に,かつ円滑に移動できるような構造としなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第51条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 (水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管)	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）

5.10　アンカボルト等

FRP(M)管

(アンカボルト等)
第52条　FRP(M)水圧管は，必要に応じてアンカボルト・アンカバンド，又はその他の構造物を設けて固定しなければならない。

〔解　説〕　ＦＲＰ(M)水圧管は，例えば次のような場合，アンカボルト，アンカバンド又は，その他の構造物を設けて，外力を直接アンカブロックに伝える構造にする。

(1)　支台において風荷重又は地震力によって管が浮き上がるおそれのあるとき
(2)　アンカブロックの位置において，水圧管の上部が露出して設けられ，遠心力・不平衡力等が作用し，管路に上向きの力が発生するとき
(3)　水圧管の上部コンクリートの被覆厚が小さく，アンカブロックに引抜応力が発生するとき
(4)　管がアンカブロック内に固定される部分，又はトンネル内に埋設される部分で，コンクリート打設時にＦＲＰ(M)水圧管に浮力が働くとき
(5)　地下水位が高いため，管内空虚時に浮力が働くおそれのあるとき

なお，管軸方向に働く外力に対しては鉄筋等のスタストッパを設ける。

アンカボルトの設計において，コンクリートに埋め込むアンカボルトの許容付着応力は，表-52-1の値以下とする。

また，コンクリートの許容支圧応力は $0.3\sigma_{ck}$ 以下とする。コンクリートの σ_{ck} は，水－セメント比，セメント及び骨材の強度，養生方法等により異なるので，その値は施工の条件に応じて決められるべきである。

硬化前のコンクリートの密度は2300kg/m³とする。地震，風の影響及び一時荷重を考えた場合の許容応力は「コンクリート標準示方書」[1]による。

表-52-1　アンカボルトの許容付着応力

鋼棒の種別	コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} N/mm² {kgf/cm²}			
	17.7 {180}	23.5 {240}	29.4 {300}	39.2 {400}
普通丸鋼	0.69 {7}	0.78 {8}	0.88 {9}	0.98 {10}
異形棒鋼	1.37 {14}	1.57 {16}	1.77 {18}	1.96 {20}

1)　(社)土木学会，コンクリート標準示方書

一般市販管

(アンカボルト等)
第52条　一般市販管による水圧管は，必要に応じてアンカボルト・アンカバンド，又はその他の構造物を設けて固定しなければならない。

⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第52条に準拠する。

6　製　作

6.1　原材料

FRP(M)管

(原材料)
第53条　FRP(M)水圧管に使用する原材料は，使用環境，製造方法等に応じて適切なものを選定しなければならない。

〔解　説〕　ＦＲＰ(M)水圧管の設計において，原材料を正しく選定することは，適切な積層構造を選定することとあわせて，極めて重要なことである。原材料の選定は，強度，耐食性といった機能のほかに，積層構造や製造方法なども考慮して行う必要がある。

以下に，基本的な原材料である樹脂及びガラス繊維の選定における注意点を記す。

(1)　樹　脂

樹脂は，使用環境に応じて適切なものを選定する。ＦＲＰ(M)水圧管路の主要耐圧部には，通常，JIS K 6919(1992)「繊維強化プラスチック用液状不飽和ポリエステル樹脂」に適合した不飽和ポリエステル樹脂を用いる。ＦＲＰ(M)水圧管に用いる樹脂としては，表-53-1に示すものが一般的である。

ＦＲＰの環境に対する特性は，耐薬品性，耐紫外線性等によって評価される。

使用する樹脂の種類はＦＲＰの耐食性に大きく影響するが，一般的傾向として，不飽和ポリエステル樹脂は酸にはよく耐えるが，アルカリに対しては耐性をあまり期待できないことが多い[1]。このため，使用環境により必要な場合には，JIS等に規定された試験方法により試験を行い，使用しようとする樹脂の耐食性を確認しておくことが望ましい。

また，使用環境によっては，より耐食性の高いビニルエステル樹脂やエポキシ樹脂を選定するが，これらに関するJISは制定されていない。これらを選定するに当たっては，経済性や製造方法についても十分な注意が必要である。

このほか，樹脂はその使用箇所をも考慮して選定する。例えば，保護層に使用する樹脂は，ＦＲＰ強度層に用いるものと同等か，それ以上の耐薬品性を備えたものを用いるのが望ましい。また，樹脂モルタル層に用いる樹脂は，強度のほか，製造条件を考慮して選定する。

なお，樹脂に添加する硬化剤等は，樹脂の収縮や硬化条件等を考慮し，製造方法に合致した硬化系のものとし，適切な配合を行う必要がある。

表-53-1　不飽和ポリエステル樹脂の種類

樹脂の種類	該当する JIS K 6919
オルソフタル酸系	UP－G
イソフタル酸系	UP－CM
ビスフェノール系	UP－CE，UP－CEE

(2)　ガラス繊維

ガラス繊維にはいくつかの種類があるが，ＥガラスとＣガラスはその代表的なものである。ＦＲＰ(M)水圧管には，通常，JIS R 3412(1991)「ガラスロービング」に適合するＥガラス繊維が用いられる。Ｅガラス繊維は，機械的性質に優れており，関連JISも整備されている。なお，一般に耐食ＦＲＰ用とされるＣ-ガラス繊維は，耐酸性以外の性質がやや劣るため，使用する場合は注意が必要である（図-53-1）。また，耐アルカリ性を向上させたＥガラス繊維も開発されている。これらガラス繊維の種類は各地点の特性に応じて選定する。

ガラス繊維と樹脂との界面の挙動は，ＦＲＰの力学特性に大きな影響を与えるため，ガラス繊維には樹脂との適合性や製造条件を考慮して適切に選定した表面処理を行うのが望ましい。

また，ガラス繊維は，用途及び製造方法に応じて，ロービング（円周方向，管軸方向強化），クロス及びマット（異形管接合部強化，その他補強），不織布（サーフェイスマット）等の適切な形態で使用する。

図-53-1　ＦＲＰに用いられるガラス繊維の特性[2]

(3)　その他の原材料

樹脂に添加する顔料，充填材，その他の原材料は，管の性能に害を及ぼさないものを選定する必要がある。

保護層に用いるガラス不織布，ポリエステル不織布等はJISに規定がないが，適切なものを検討して用いるのが望ましい。

また，樹脂モルタル層の骨材に用いる珪砂等は，管の性能に害を及ぼさないものを選定する必要がある。

1)　林　毅編，複合材料工学，chap. 6，p.304，1971.
2)　最新複合材料技術総覧，p.360，産業技術サービスセンタ，1990.
3)　北村忠顕，強化プラスチックス，Vol.28，No.3，p.6.

一般市販管

(原材料)
第53条　一般市販管による水圧管に使用する原材料は，使用環境，製造方法等に応じて適切なものを選定しなければならない。

〔解説〕
　一般市販管による水圧管の設計においては，製品として購入される市販管の原材料が正しく選定されていることが極めて重要となる。
　本基準で対象とする一般市販管は，第2条解説6及び7の規定に適合することが基本であるため，使用する原材料についても第2条解説6及び7の規定に適合するものとする。

2．管の製造及び使用に必要な酸化防止剤，安定剤などの添加剤についても，第2条解説6及び7の規定に適合することを基本とする。

3．ポリ管及びリブ管において，耐候性（紫外線対策）として混入されるカーボンの濃度についても，第2条解説6及び7の規定に適合することを基本とする。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
6.2　製管	**(製管)** 第54条　FRP(M)水圧管の主要耐圧部は，原則としてFW成形方法又はCC成形方法によって製造しなければならない。	**(製管)** 第54条　一般市販管による水圧管の主要耐圧部は，それぞれ適切な成形方法によって製造しなければならない。 〔解説〕 一般市販管として購入することを前提としているため，管の製造については，原則として，受入時に第2条解説6及び7の基準に準拠していることを確認するものとする。 なお，各管の成形方法は以下のとおりである。 塩ビ管(PVC-U)は，原則として押出成型方法によって製造する。 ポリ管は，原則として連続押出成型方法によって製造する。 リブ管は，原則としてスパイラルワインディング押出成型方法によって製造する。
6.3　試験及び検査	**(試験及び検査)** 第55条　FRP(M)水圧管の主要耐圧部は，工場製作後，製品について試験及び検査を行い，その品質が必要な使用を満足することを確認しなければならない。 ２．FRP(M)水圧管の主要耐圧部は，使用条件により必要に応じて材質について試験を行い，強度，耐食性等，必要な使用を満足することを確認しなければならない。	**(試験及び検査)** 第55条　一般市販管による水圧管の主要耐圧部は，工場製作後，製品について試験及び検査を行い，その品質が必要な使用を満足することを確認しなければならない。 ２．一般市販管による水圧管の主要耐圧部は，使用条件により必要に応じて材質について試験を行い，強度，耐食性等，必要な使用を満足することを確認しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第55条に準拠する。 ⇒　製品の試験検査については，第2条解説6及び7の基準に準拠することを基本とする。 ⇒　寸法の許容差（公差）については第2条解説6及び7の基準に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
6.4　付属設備の製作	**(付属設備の製作)** 第56条　FRP(M)水圧管路の主要耐圧部と一体となる主要な付属設備は，主要耐圧部と同等の品質が得られるよう，適切な方法によって製造しなければならない。 〔解　説〕主要耐圧部と一体となる主要な付属設備には，スチフナ，スラストカラ等がある。これらは，主要耐圧部と同様の応力を生ずるほか，特に接合部などでは2次応力が発生することがあるので，製造に当たってはこのことを十分考慮する必要がある。 　スチフナ，スラストカラは，通常，主要耐圧部の成形完了後，FW成形方法，CC成形方法，HLU成形方法等により2次接着して，主要耐圧部と一体に製作する。 　付属設備の試験検査は，仕上がった製品の寸法，外観について行うほか，必要な場合には，2次積層部のせん断強度を製品試験することが望ましい。	**(付属設備の製作)** 第56条　一般市販管による水圧管路の主要耐圧部と一体となる主要な付属設備は，主要耐圧部と同等の品質が得られるよう，適切な方法によって製造しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第56条に準拠する。
7　**据付け**		
7.1　取扱い	**(取扱い)** 第57条　FRP(M)水圧管は，製作及び据付時の運搬過程において，変形及び破損が生じることのないように，その取り扱いについて十分注意しなければならない。 〔解　説〕水力発電所は一般に交通不便な場所にあり，工場から現場に至る輸送条件が悪い場合が多く，さらに現場においても露出管の場合は，山の急斜面に据え付けたり，また，埋設管においては狭い搬入路を通って運ぶ等，現場の水圧管置場から据付位置への運搬条件が悪いのが普通である。 　したがってFRP(M)水圧管の製作及び据付時の運搬過程においては管が変形したり破損したりすること等がないように，その取扱いについては十分な注意が必要である。特に管の挿口外面及び受口内面は接合部として重要な部分であり，傷をつけることの無いよう十分に注意しなければならない。また，ワイヤロープ等を使用する場合は，管胴に傷が入らないように，当布を用いるなどの注意が必要である。 　管胴にあらかじめ装着してあるゴム輪の場合は，太陽ゴムの劣化防止用保護テープが破れないように注意する。現場にて装着するゴム輪の場合には，使用するまで倉庫又は冷暗所に保管する等，適切な管理を行わなければならない。現場でのゴム輪の受口溝への装着は，管及びゴム輪をよく清掃した後，仮置場で実施し，その後，据合場所への搬入を行うことが多い。 　現場運搬にはトレーラ，ケーブルクレーンやインクライン等が採用されている。 　現場据付けの際には，例えばケーブルによる運搬途上において引きワイヤの切断のために管を地上に落としたり，また，インクラインによる据付けの際に管を管路斜面に沿って落下させて管を破損しないように，据付け実施前に据付用機器について十分な検討をしておかなければならない。特にFRPの力学的性質を考慮し，集中荷重をできるかぎり避け，ジャッキアップ等の際には当板等を用いて荷重を分散させるよう注意しなければならない。	**(取扱い)** 第57条　一般市販管による水圧管は，製作及び据付時の運搬過程において，変形及び破損が生じることのないように，その取り扱いについて十分注意しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第57条に準拠する。
7.2　据付一般	**(据付一般)** 第58条　FRP(M)水圧管は，位置及び形状が設計に合致するように所定の管理基準に基づき据え付けなければならない。 〔解　説〕FRP(M)水圧管の据付けには，水圧管中心線と中心高を付近構造物その他に正確に引照点として印しておき，これを基準として芯出しを行う。 　まず曲管を据付け，これを固定し，これより上流側（調整管がアンカブロックの直下流にある場合）又は，上下流側（調整管が2個のアンカブロックの中間部にある場合）に向かって据付けることが多い。 　土中埋設管の場合には，設計条件に合致するよう良土砂を使用して埋戻し，適切な施工管理に基づいて締固めなければならない。また，巻立埋設管の場合には，コンクリートを打設する時に浮力や偏圧が作用するので，管の移動を防ぐため正しく固定する必要がある。	**(据付一般)** 第58条　一般市販管による水圧管は，位置及び形状が設計に合致するように所定の管理基準に基づき据え付けなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第58条に準拠する。 ⇒　据付に関しては，農林基準の施工に関する規定事項を参考にするものとする。
7.3　継手の施工	**(継手の施工)** 第59条　FRP(M)水圧管の継手接合に際しては，所定の継手性能が得られるよう施工しなければならない。 〔解　説〕FRP(M)水圧管を継手接合する際には，受口内面と挿口外面をよく清掃し，潤滑剤を塗布した後，接合しなければならない。また，何らかの理由によって標線（継手の差し込み深さを規定する標準線）の現場確認が困難な場合には，挿口の所定位置にストッパを取付けておく方法もある。この場合，規定位置まで挿入後，ゲージ等によってゴム輪が所定の位置にあることを全周にわたって確認すればよい。ストッパのない継手の場合には，挿口がゴム輪バルブ部を通過した後は弱い引張力でも一気に奥まで入り込みすぎることがあるので，注意する必要がある。 　また継手の折れ曲り角については，設計値に対する具体的な据付管理値を決めて，これを遵守する。 　異種管との継手接合に際しては，押輪の芯出し，ボルトの均等な締付けによるセンタリング等，所定の接合手順に従い，熟練した作業員により正しく行う。	**(継手の施工)** 第59条　一般市販管による水圧管の継手接合に際しては，所定の継手性能が得られるよう施工しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第59条に準拠する。 ⇒　施工に関しては，農林基準の施工に関する規定事項を参考にするものとする。 ⇒　継手の施工時には，農林基準に準じて，現場漏水試験（継目試験）を実施するのが望ましい。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準（案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
7.4　調整管の施工	**(調整管の施工)** 第60条　FRP(M)水圧管の据付けに関しては，必要に応じて調整管を設けるものとする。 〔解　説〕　据付けに際して，アンカブロック間の距離が長い場合や，屈曲部の屈曲角度が大きい場合等には，設計長に余裕を加えた長さを持つ調整管を準備し，現場で必要な長さに切断して調整を行うことがある。調整管の例を，図-60-1に示す。調整管は長さを調整して切断し，継手，開先の面取等の端部加工を施した後，直管や受口付きフランジ単管と接続する。 また，アンカブロック間に止水を兼ね管芯のずれが生じた場合は，末端の2～3本の管を施工範囲以内で調節して接続することにより，ずれを吸収すればよい。 図-60-1　調整管の使用例	**(調整管の施工)** 第60条　一般市販管による水圧管の据付けに関しては，必要に応じて調整管を設けるものとする。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第60条に準拠する。
7.5　充水及び運転試験	**(充水及び運転試験)** 第61条　FRP(M)水圧管は，据付完了後充水し，静水圧による水密検査を行ったうえ，負荷遮断試験を含む運転試験によりFRP(M)水圧管全体の異常の有無を検査し，安全性の確認を行わなければならない。 〔解　説〕　FRP(M)水圧管の据付完了後，内部を清掃，点検のうえ，適切な時期に制水門扉または，バイパス弁を使用して管内に充水し，充水中及び充水後における管の異常の有無を点検しなければならない。露出管の場合の水密試験は主として目視によって行う。埋設管の水密試験は，管路の一部区間又は全区間の完成後に充水して，一定時間（例えば24時間）において水位を一定に保つための補給水量やあるいは水位の変化を調べる方法がある。 発電所の運転試験においては，水圧上昇時の管の挙動や振動等，管全体の異常の有無を検査し，安全性を確認しなければならない。 1)　新エネルギー財団，FRP等，管路設計・施工マニュアル（案），p.93，1999.	**(充水及び運転試験)** 第61条　一般市販管による水圧管は，据付完了後充水し，静水圧による水密検査を行ったうえ，負荷遮断試験を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全性の確認を行わなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第61条に準拠する。
7.6　銘板	**(銘板)** 第62条　FRP(M)水圧管には，FRP(M)水圧管の製作者名・製作年月日・最大設計水頭・有効落差（最大使用水量時）・延長（分岐部は区別する），内径（上部及び下部），管種，樹脂の種類，単位管長及び本数等を記載した銘板を取り付けなければならない。 〔解　説〕「水門鉄管技術基準」水圧鉄管・鉄鋼構造物編第1章第59条に準拠する。	**(銘板)** 第62条　一般市販管による水圧管には，水圧管の製作者名・製作年月日・最大設計水頭・有効落差（最大使用水量時）・延長（分岐部は区別する），内径（上部及び下部），管種，樹脂の種類，単位管長及び本数等を記載した銘板を取り付けなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第62条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準の（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
8　支台及びアンカブロック		
8.1　位　置	**(位　置)** 第63条　FRP(M)水圧管は，適切な位置に支台又はアンカブロックを設け,FRP(M)水圧管に作用する荷重を確実に基礎に伝達し,主要耐圧部の機能に支障を与えるような応力を生じないようにしなければならない。 [illegible]	**(位　置)** 第63条　一般市販管による水圧管は，適切な位置に支台又はアンカブロックを設け,FRP(M)水圧管に作用する荷重を確実に基礎に伝達し,主要耐圧部の機能に支障を与えるような応力を生じないようにしなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第63条に準拠する。
8.2　基　礎	**(基　礎)** 第64条　支台及びアンカブロックは,必要な支持力をもつ基礎地盤の上に設けなければならない。ただし、これが,困難な場合は必要な支持力をもつ基礎工を施さなければならない。 [illegible]	**(基　礎)** 第64条　支台及びアンカブロックは,必要な支持力をもつ基礎地盤の上に設けなければならない。ただし、これが,困難な場合は必要な支持力をもつ基礎工を施さなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第64条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準の（案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
8.3　考慮する荷重	**(考慮する荷重)** 第65条　支台及びアンカブロックの安定計算に考慮する荷重は,次に掲げるものとする。 （以降省略）。 [illegible]	**(考慮する荷重)** 第65条　支台及びアンカブロックの安定計算に考慮する荷重は,次に掲げるものとする。 （以降省略）。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第65条に準拠する。
8.3　考慮する荷重	[illegible]	《余白》

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準の（案)の骨子　　［ 比較表 ］

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
8.4　安定の検討	**(安定の検討)** 第66条　支台及びアンカブロックは,転倒,滑動,圧かいに対して安全でなければならない。 [illegible]	**(安定の検討)** 第66条　支台及びアンカブロックは,転倒,滑動,圧かいに対して安全でなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第66条に準拠する。
9　**保守管理**		
9.1　漏水の防止	**(漏水の防止)** 第67条　発電運用に支障をきたすような,FRP(M)水圧管の主要耐圧部,継手及び付属設備からの漏水は速やかに補修しなければならない。 ［解 説］ 省 略	**(漏水の防止)** 第67条　発電運用に支障をきたすような,一般市販管による水圧管の主要耐圧部,継手及び付属設備からの漏水は速やかに補修しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第67条に準拠する。
9.2　継手の整備	**(継手の整備)** 第68条　継手は,その機能を維持できるように常に整備しておかなければならない。 [illegible]	**(継手の整備)** 第68条　継手は,その機能を維持できるように常に整備しておかなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第68条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準の（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
9.3　空気管及び空気弁の整備	**(空気管及び空気弁の整備)** 第69条　FRP(M)水圧管内の水を排除するときは,空気管及び空気弁の機能を確かめ,これが完全であるときでなければ排水してはならない。 〔解　説〕　FRP(M)水圧管内の排水に当たって，空気管及び空気弁の不動作は管の圧かいを引き起こす危険性がある。このため，空気管及び空気弁の機能が完全であることを確かめた上でなければ排水してはならない。これらの点検並びに排水に当たって注意すべき事項は，次のとおりである。 (1)　空気管は，内部の凍結・詰結に留意し，空気弁は，その機能をよく理解して異常ないことを確認しなければならない。 (2)　冬期，充水のまま一定時間運転を中止していたFRP(M)水圧管の管内排水を行う場合には，空気管又は空気弁の凍結の有無に特別の注意を払わなければならない。 (3)　排水に当たっては，排水弁により試験排水を行い，空気管又は空気弁の作動を確認した後，排水弁を漸次開放する方法を取らなければならない。 (4)　たとえ空気管又は空気弁の異常のないことが確認された場合でも，決して[illegible]による排水を行ってはならない。	**(空気管及び空気弁の整備)** 第69条　一般市販管による水圧管内の水を排除するときは,空気管及び空気弁の機能を確かめ,これが完全であるときでなければ排水してはならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第69条に準拠する。
9.4　振動の軽減	**(振動の軽減)** 第70条　発電所の運転中にFRP(M)水圧管の振動がいちじるしく,発電所の運転に支障をきたすと認められる場合には,これを軽減するよう適切な措置を取らなければならない。 〔解　説〕　FRP(M)水圧管は水圧鉄管と比べ振動が発生しにくい材質，構造であるので，一般的に発電所の運転中の振動は大きな問題にはならない。しかし，振動を設計段階で正確に予測することは難しい。このため，FRP(M)水圧管の使用に当たっては，完成後，例えば，負荷遮断試験時などに振動を測定し，それが有害なものでないことを確認することが望ましい。 　振動が問題となるのは運転中に常時生じているような振動であって，負荷遮断試験時の一時的な圧力変化によるものは，例えそれによる変化量が大きくても問題にならない場合がほとんどである。 　運転中のFRP(M)水圧管の振動軽減の方法及び振動が観測された場合の対策については，「水門鉄管技術基準」水圧鉄管編第70条に準拠する。	**(振動の軽減)** 第70条　発電所の運転中に一般市販管による水圧管の振動がいちじるしく,発電所の運転に支障をきたすと認められる場合には,これを軽減するよう適切な措置を取らなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第70条に準拠する。
9.5　完成後の水質に対する考慮	**(完成後の水質に対する考慮)** 第71条　FRP(M)水圧管完成後に、流域変更,水源における水質の変化,その他の原因により管内流水が変化し,管本体に悪影響を及ぼす状態になったと認められるときは,FRP(M)水圧管の劣化を軽減できるような措置を取らなければならない。 〔解　説〕　FRP(M)水圧管は，わが国で通常考えられる水質においては使用上問題はない。 　FRP(M)水圧管完成後に，流域変更などにより pH 値の高い河川からの取水，水路施設における[illegible]，その他の原因による流砂量の増加，水温の上昇などにより水質の変化が生じ，管本体などに悪影響を及ぼす状態になったと認められるときは，第22条及び第23条を参考に，保護層を多層構造にするなどの対策を講じなければならない。	**(完成後の水質に対する考慮)** 第71条　一般市販管による水圧管完成後に、流域変更,水源における水質の変化,その他の原因により管内流水が変化し,管本体に悪影響を及ぼす状態になったと認められるときは,水圧管の劣化を軽減できるような措置を取らなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第71条に準拠する。
9.6　管の点検測定	**(管の点検測定)** 第72条　FRP(M)水圧管は、必要に応じて管内の水を排水し,FRP(M)水圧管の維持に必要な点検をしなければならない。またFRP(M)水圧管の状態は経年により変化するので,必要に応じて管厚,管ひずみ,その他を測定しなければならない。 〔解　説〕　FRP(M)水圧管は，摩耗その他により保護層が次第に減少するおそれがあり，その減少が強度層に至る場合は，設計時の強度条件を下回る状態となるので管厚調査を行い，危険箇所の補修又は取替を行ってFRP(M)水圧管の安全を図らなければならない。 　FRP(M)管の管厚の調査には種々の方法が考えられているが，例えば，あらかじめ内面保護層を数層に製作し，所定の層を着色して抜水点検時に目視により確認する方法などがある。 　また，FRP(M)水圧管は長期荷重により[illegible]が低下するおそれがある。この低下の程度を把握するには，管の初期[illegible]（管製造者の[illegible]など）を把握し，点検時の抜水・充水時に管のひずみ変化を測定し，設計時のものと比較することによって低下の程度を推定する方法がある。例えば，円周方向[illegible]は次式の関係を利用して求められる。 $EA_{\theta}=\frac{PD}{2\varepsilon}$ ここに，EA_{θ}：管壁の円周方向[illegible] ε：測定ひずみ変化 P：圧力変化 D：管　径	**(管の点検測定)** 第72条　一般市販管による水圧管は、必要に応じて管内の水を排水し，水圧管の維持に必要な点検をしなければならない。また一般市販管による水圧管の状態は経年により変化する可能性があるので,必要に応じて管厚,管ひずみ,その他を測定しなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第72条に準拠する。

表Ⅱ-1.11　一般市販管による水圧管路技術基準の（案)の骨子　　[比較表]

項　目	FRP(M)管 （水門鉄管基準　FRP(M)水圧管編　一部鋼管）	一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管，PC管）
9.7　補修又は取替え	**(補修又は取替え)** 第73条　FRP(M)水圧管の保護層の減少,材質の変化,継手部の水密の低下などによりFRP(M)水圧管の安全性に支障をきたすと認められるときは,速やかに補修又は取替えを行わなければならない。 〔解　説〕 ＦＲＰ(M)水圧管は，水圧鉄管と比べ補修又は取替えの実績があまり無いので，具体的な補修並びに取替え方法については今後の実績を踏まえて検討を行う必要がある。補修又は取替えを行う必要がある場合は，下記によりＦＲＰ(M)水圧管の安全性に支障をきたすと判断されるときである。 (1) 管の磨耗が進行して保護層厚が減少したり，又は経年により管材質が変化し破壊強さが低下したとき (2) 落石などにより管に損傷が生じたとき (3) 継手部のゴムの損傷又は何らかの原因で漏水が生じ許容できないとき (4) その他の原因で管の機能又は強度が低下し使用できないとき	**(補修又は取替え)** 第73条　一般市販管による水圧管の管厚の減少,材質の変化,継手部の水密の低下などにより，水圧管の安全性に支障をきたすと認められるときは,速やかに補修又は取替えを行わなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第73条に準拠する。
9.8　支台及びアンカブロックの補修	**(支台及びアンカブロックの補修)** 第74条　支台及びアンカブロックは,ひび割れ又は移動を生じ,それらの機能維持に支障があると認められたときは,速やかに補修をしなければならない。 〔解　説〕 支台及びアンカブロックについて，もし，損傷を発見した場合には，状況をよく確認しておき，ひび割れ，コンクリートの劣化又は移動などの進行状況は記録に残しておくべきである。ひび割れについては，モルタル塗布（モルタルに発生するひび割れによりコンクリートのひび割れの進行を調べる方法）及びひび割れ部の開げきの測定などにより，また，移動については，基準点の測量によって調査し，維持管理上支障があると認められるときは，これら構造物の補修又は移動防止対策を講じなければならない。	**(支台及びアンカブロックの補修)** 第74条　支台及びアンカブロックは,ひび割れ又は移動を生じ,それらの機能維持に支障があると認められたときは,速やかに補修をしなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第74条に準拠する。
9.9　敷及び切取りのり面の保護	**(敷及び切取りのり面の保護)** 第75条　敷及び切取りのり面は,FRP(M)水圧管の機能維持に支障がないように保護工を施し、常に整備をしておかなければならない。 〔解　説〕 省　略	**(敷及び切取りのり面の保護)** 第75条　敷及び切取りのり面は,一般市販管による水圧管の機能維持に支障がないように保護工を施し、常に整備をしておかなければならない。 ⇒　基本的に，「水門鉄管技術基準」 FRP(M)水圧管編 第75条に準拠する。

第２章　水車等に関する海外機器製作者の技術調査

第２章　水車等に関する海外機器製作者の技術調査

本章では，コスト削減の可能性を探るため海外機器製作者へのアンケート調査を実施し，その回答を整理した。また，既に海外機器を採用した国内事業者および海外機器に対応する国内メーカーと代理店に対して，契約から据付までの対応やメンテナンスなどについてアンケート調査を行い，その結果をとりまとめて海外機器採用に対する基礎資料とした。

２．１　海外機器製作者への調査

２．１．１　調査目的

小水力発電部会では，平成 15・16 年度とケーススタディ地点へ簡易発電システムを適用し，工事費の算出を行った。その結果，簡易発電システムの適用による工事費は，在来設計に比べて平均で約 3 割程度のコストダウンが可能であることを確認した(表Ⅱ-2.1 参照)。

また，簡易発電システムの工事費の内訳においては，電気機械設備を機器別価格から見ると，水車の機器価格が電気機械設備の機器価格に占める割合が平均で約 5 割程度となっている(表Ⅱ-2.2 参照)。

このケーススタディ結果を踏まえるとともに，これまでの委員会・部会の審議を勘案すると，

○　今後，小水力発電の普及・促進を図るためには，水車の機器価格のさらなる低減が必要になると考えられる。

○　また，平成 15 年度第 3 回水力資源有効活用技術開発委員会(平成 16 年 3 月開催)においても，簡易発電システムの工事費低減に向けて，海外の電気機器に関する調査の提案があった。

○　加えて，電力においては，発電プラントを海外調達することにより調達費用を大きく度削減した例もあり，今後，発電プラントの海外調達は拡大すると考えられる。

以上より，海外製水車の技術面及び価格面での評価を行い，新規参入を含めた小水力事業者の積極的な開発促進に寄与することを目的として，海外の水車機器製作者の技術調査を行うこととする。

表Ⅱ-2.1　ケーススタディ地点　工事費比較表

項　目	単位	A地点	B地点	C地点	D地点	E地点	F地点	平 均
諸　元								
施設区分		発電用ダム	発電用ダム	砂防ダム	砂防ダム	下水道	上･工業	-
最大使用水量	m3/s	4.00	0.1750	0.0360	0.0456	0.20	0.21	-
有効落差	m	10.65	9.58	32.71	64.45	11.68	87.74	-
最大出力	kW	290.0	11.0	8.0	20.0	14.0	130.0	-
工事費								
在来設計	百万円	396.9	48.2	79.0	81.2	53.9	170.6	138.3
簡易発電システム	百万円	195.9	28.6	61.8	45.5	38.2	154.2	87.4
差　額	百万円	201.0	19.6	17.2	35.7	15.7	16.4	50.9
コストダウン率	%	50.6	40.7	21.8	44.0	29.1	9.6	32.6

表Ⅱ-2.2　電気機械設備の機器価格

項　目	単位	A地点	B地点	C地点	D地点	E地点	F地点	平 均
水 車	千円	-	7,300	4,900	5,200	9,000	9,000	7,080
発電機	千円	-	630	600	700	650	2,500	1,016
入口弁	千円	-	1,100	1,500	2,500	1,500	3,900	2,100
制御･保護盤	千円	-	2,850	2,600	3,150	2,950	10,150	4,340
その他	千円	-	760	700	750	1,240	1,690	1,028
合　計	千円	-	12,640	10,300	12,300	15,340	27,240	15,564
水車価格割合	%	-	57.8	47.6	42.3	58.7	33.0	47.9

※A地点の内訳は，中小水力ガイドブックにより積算したため機器価格の内訳はない
※各機器の据付等に係る工事費は含まれていない
※系統連系は，F 地点のみ高圧であり，その他は低圧。また，C,E 地点は逆潮なしであるが，その他は逆潮あり。

２．１．２　調査内容

調査の方法および内容を以下に整理した。

(1)　海外の水車機器製作者を

- ○　「2005 International Water Power & Dam Construction Yearbook」,
- ○　「HRW (Hydro Review Worldwide), 2005-6 Worldwide Hydro Directory」,
- ○　納入実績のある事業者からの聞取り調査,
- ○　インターネット,
- ○　その他雑誌

等から情報収集を行い，選定する。

(2)　選定した製作者に対して，製作できる水車の種類・国外への納入実績・当部会の説明及びケーススタディ内容を記載した質問状(Questionnaire)を作成・送付するとともに，ケーススタディ地点における適用水車の見積を依頼する。

(3)　機器製作者が見積もったケーススタディ地点に対する機器価格（工事費）と，部会で算定した工事費とを比較・検討し評価を行う。

(4)　上記(1),(2)で調査した水車機器製作者及び納入先事業者へ必要があれば訪問し，水車の詳細調査・納入した機器に関しての保守面・運転面・障害状況・機器製作者の対応等の調査を行う。

２．１．３　調査結果

(1) 調査対象者および質問状(Questionnaire)

調査対象者を下記の書籍及びインターネットにて抽出し，表Ⅱ-2.3 に整理した。

○　「Micro Hydro Design Manual 1993」,
○　「2004 International Water Power & Dam Construction Yearbook」,
○　「2005 International Water Power & Dam Construction Yearbook」,
○　「HRW (Hydro Review Worldwide), 2005-6 Worldwide Hydro Directory」,

このリストをもとに，日本での納入実績，日本国内の代理店の有無，実績・評判などを考慮して調査対象者の絞込みを行った。その結果を表Ⅱ-2.4 に示す。

この表Ⅱ-2.4 に示す海外機器製作者に対し，表Ⅱ-2.5 に示す質問状(Questionnaire)を送信し,合わせて昨年度までに実施したケーススタディ地点に対する見積りを依頼した。

表Ⅱ-2.3 List of Turbine Manufacturers (抽出)

Name	Country	Adress
Ossberger GmbH + Co.	Garmany	PO Box 425, D-91773, Weissenburg, Bayern
Gugler Gmbh	Garmany	Postfach 1524, D-94005, Passau
Maschinenbau GmbH	Garmany	lm Muhrhag 3, D-77871, Renchen
Wasserkraft Volk AG	Garmany	Am Stollen 13, D-79261, Gutach
HydroWatt GmbH	Garmany	Am Hafen 5, D-76189, Karlsruhe
Wiegert und Bahr Maschinenbau	Garmany	Im Muhrhag 3, D-77871, Renchen
MHyLab - Mini Hydraulics Laboratory	Switzerland	CH-1354, Montcherand
Mecamidi	France	41,rue Corneille, 31500, Toulouse
VA Teach Bouvier Hydro SAS	France	49/51 Boulevard, Paul Langevin, BP 7, F-38601, Fontaine Cedex
Andritz AG	Austria	Stattegger Strasse 18, A-8045,Graz
Kossler Ges mbH	Austria	Haupt Strasse 122, A-1351 St, Polten-Georgen
Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.	Uninted Kingdom	Canal Head North, Kendal, Cumbria LA9, 7Bz
Hungry Ganz Energetics Co. Ltd.	Hungry	Köbányai ut 21, H-1087 Budapest, Hungary
TURAB Turbine & Regulator Service AB	Sweden	Förradsgatan 2, SE-57139 Nässjö, Sweden
Dependable Turbines Lyd.	Canada	17930 Roan Place, Surrey, British Columbia, Canada
Cayon Indursties Inc.	USA	Canyon Hydro 5500 Blue Heron Lane Deming, WA 98244 USA
Mckay Water Power Ltd.	Canada	24-529 Elm Street Port Colborne, Ontario Canada

表Ⅱ-2.4 List of Turbine Manufacturers（実施）

Name	Country	代理店	納入実績(日本)	NEFによる現地調査
Ossberger GmbH + Co.	Garmany	田中水力，豊国工業	新寺津，東河内，易老沢，星野温泉	
Gugler Gmbh	Garmany	ハンテック	長衛荘，利平茶屋	2002年に実施済み
Wasserkraft Volk AG	Garmany	ハンテック	那智	2002年に実施済み
HydroWatt GmbH	Garmany	ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰ	都留家中川	
MHyLab - Mini Hydraulics Laboratory	Switzerland			
Andritz AG	Austria			
Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.	Uninted Kingdom	ギルケスジャパン，田中水力	馬曲川	2002年に実施済み
CINK-vodni elektrarny a.s.	Czech	ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰ	三分一湧水公園	
Hydrolink s.r.o	Czech			
Mavel a s.	Czech	ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰ	山一	2002年に実施済み

表II -2.5 Quotation Form

		Project A	Project B	Project C	Project D	Project E	Project F
1	Net Head(m)	10.65	9.58	32.71	64.45	11.68	87.74
2	Diacharge(m3/s)	4.0	0.175	0.036	0.0456	0.2	0.21
3	Maximum Anticipoated Output(kW)	290.0	11.0	8.0	20.0	14.0	130.0
4	Generator						
	(1) Type	Induction	Synchonous	Synchonous	Synchonous	Synchonous	Synchonous
	(2) Voltage(V)	210	210	210	210	210	210
	(3) Operation Mode	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel
5	Scope of Supply						
	Turbine	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Inlet valve	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Gearbox	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Generator	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Inverter	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Governor	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Controlboard(PLC)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Transformer	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Medium voltage Switchgear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
6	Volatge of Power System(kV)	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

Additional Question
What kind of as built drawing do you usually submit to customer ?

What kind of technical support do you provide to customer in case of unexpected breakdown?

Please show us supply record last ten years.(less than 500kW)

(2) **調査結果（回答状況）**

水車の海外製作者への見積依頼は11月初旬に行い，2月下旬現在別紙（表Ⅱ-2.6）のとおりA社およびB社の2社より回答を得た。　内容は以前送付した見積書仕様書（A地点からF地点）に沿って，A社よりA地点，B地点，E地点，F地点，B社からはC地点，D地点についてそれぞれ見積回答（表Ⅱ-2.6）を得たものである。

一般的に，海外製作者は国内製作者よりも価格が低廉と言われているが，為替リスクの考え方の影響や，見積条件を水車，発電機，制御盤，据付工事などを一括にて依頼したため，国内製作者より高額な見積結果となった。

なお，水車，発電機などを単体のみ海外製作者から購入し，その他については国内製作者もしくは代理店が購入する場合，もしくは海外製作者より事業者が直接購入を行なえば，工事費の低減が図れる可能性はあると思われる。

表II-2.6　Quotation Form

		Project A	Project B	Project C	Project D	Project E	Project F
1	Net Head(m)	10.65	9.58	32.71	64.45	11.68	87.74
2	Diacharge(m3/s)	4.0	0.175	0.036	0.0456	0.2	0.21
3	Maximum Anticipoated Output(kW)	290.0	11.0	8.0	20.0	14.0	130.0
4	Generator						
	(1) Type	Induction	Synchonous	Synchonous	Synchonous	Synchonous	Synchonous
	(2) Voltage(V)	210	210	210	210	210	210
	(3) Operation Mode	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel
5	Scope of Supply						
	Turbine	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Inlet valve	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Gearbox	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Generator	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Inverter	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Governor	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Controlboard(PLC)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	AVR	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Transformer	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Medium voltage Switchgear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
6	Volatge of Power System(kV)	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
		A社	A社	B社	B社	A社	A社
	水車形式	カプラン	クロスフロー	ペルトン	ペルトン	クロスフロー	ペルトン
	見積回答価格	69,342,000円	37,583,000円	15,277,500円	18,322,500円	37,583,000円	59,878,000円
	1ユーロ＝140円	495,300ユーロ	268,450ユーロ			268,450ユーロ	427,700ユーロ
	従来設計	253百万円	24.9百万円	16.2百万円	23.4百万円	28.6百万円	45.2百万円
	簡易発電システム（国内メーカー）	118百万円	17.6百万円	14.3百万円	17.0百万円	22.6百万円	36.2百万円

*海外メーカー見積は据付工事，試験も含む。

２．２　海外機器導入者への調査（国内調査）

２．２．１　調査目的および方法

コストダウンを目的に海外機器を安く購入して国内に導入したとしても，トラブルやメンテナンス時の対応や部品交換等に割高なコストや長時間を要すようでは問題となる。

そのため，海外機器導入の実績を調査することにより，契約から据付までの対応，トラブル・メンテナンス時の対応，導入によるメリット・デメリット，またコストダウン実現のための配慮事項などについて整理するものである。

調査の対象は，既に海外機器を採用した国内事業者および海外機器に対応する国内メーカー（代理店を含む）に対して実施した。

なお，調査の方法は，アンケート調査票の送付・回収により行った。調査対象リストを表Ⅱ-2.7 に示す。

表Ⅱ-2.7 調査対象リスト

	調査対象　名称		調査対象　名称
事業者	北海道電力株式会社	代理店	㈱ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰ
	東北電力株式会社		豊国工業株式会社
	東京電力株式会社		㈱ハンテック
	北陸電力株式会社		ギルケスジャパン
	中部電力株式会社		㈱ｲｽﾞﾐ
	関西電力株式会社		小計　5
	中国電力株式会社	国内メーカー	イームル工業株式会社
	四国電力株式会社		㈱荏原製作所
	九州電力株式会社		㈱エイワｯﾄ
	電源開発株式会社		㈱クボタ
	東京発電株式会社		神鋼電機株式会社
	群馬県　企業局		㈱田中水力機械製作所
	長野県　木島平村		東芝ﾌﾟﾗﾝﾄｼｽﾃﾑ株式会社
	群馬県　黒保根村		㈱酉島製作所
			㈱中川水力
			㈱日立製作所
			㈱日立産機ｼｽﾃﾑ
			富士電機ｼｽﾃﾑｽﾞ株式会社
			㈱明電舎
	小計　14		小計 13
			合計 32

２．２．２　調査内容

アンケート調査の内容は，事業者に対する質問と，代理店および国内メーカーに対する質問とに分けて実施し，回答方法はすべて記述式とした。

表Ⅱ-2.8 に事業者に対する質問内容を示し，表Ⅱ-2.9 に代理店および国内メーカーに対する質問内容を示す。

表Ⅱ-2.8　事業者に対する質問内容

	質 問 内 容
1	海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力 500kW 以下)の実績を提示してください。可能な範囲で，実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載してください。
2	海外からの調達は代理店，国内メーカーを経由していますか，又は直接購入ですか。
3	海外から調達した水車・発電機等の電気機器について，納入時，据付時，運開以降に発生したトラブル，不具合等があればその内容（故障箇所等事例）と事業者，代理店・メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。
4	故障，部品交換が必要になった場合，どのような対応をとられたのですか。あるいは，今後，どのように対応をとられる計画ですか。また，故障修理，部品の製作などについて，国内での対応の実績・計画・可能性を教えてください。
5	故障修理，部品の製作などの国内対応について，国内水車メーカー関連工場などによる対応のほか，地元の一般工場による対応，一般市販部品（規格品）による対応などの事例があれば教えてください。
6	海外調達のメリット・デメリットについて，率直な意見を教えてください。
7	国際調達に際しての一般仕様及び技術仕様が国内メーカーと異なる点は何ですか。また，その納入業者選定における審査項目を教えてください。
8	国内業者と海外業者の比較となった時，保守・メンテナンスへの対応の容易さなどは，どのように評価されたのですか。
9	機器の据付に際して，納入業者の技術者が現場で指導に当たられたのですか（据付時の体制を教えてください)。
10	機器据付完了時の試験（引渡し条件確認）などは，どのような基準に準じて実施したのですか。
11	機器の保証期間・保証項目を教えてください。通常の国内の機器と比べて，どのような違いがありますか。
12	業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。
13	図面を記述する規格を教えてください。また，記載は英語または日本語ですか。
14	トラブル時の費用負担をどう考えていますか。次のそれぞれのケースで回答願います。（メーカー設計ミスの場合，製作不良の場合，取扱不良の場合）
15	その他，海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項，懸案事項，意見など，助言をお願いします。

表Ⅱ-2.9　代理店および国内メーカーに対する質問内容

	質 問 内 容
1	海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力 500kW 以下)の納入実績を提示してください。可能な範囲で，実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載して下さい。
2	海外から調達した水車・発電機等について，調達先メーカーが出力の規模等により，さらに他のメーカー（下請け）のものを採用している事例もあると思いますが，その辺の実態を可能な範囲で教えてください。
3	【代理店様用】海外メーカーとの販売契約の締結について，貴社の対応（考え）を教えてください。(独占販売契約等について)
4	海外調達のメリット・デメリットについて，率直な意見を教えてください。
5	使用材料，部品のうち，日本国内で手に入らない特殊なものがあれば教えてください。
6	使用部品は日本国内で製造・修理が可能ですか。その際，特殊な設備が必要ですか。また，型物の場合の対応はどのようにお考えですか。各部品の予備品等は代理店もしくは国内メーカーがストックしているのですか。または海外メーカーが本国にストックしているのですか。
7	スペアーパーツが必要になり国内に製品がない場合，納入にどのくらい時間が必要ですか。
8	業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。
9	図面を記述する規格を教えてください。また，記載は英語，日本語または現地語ですか。
10	トラブルが発生した際，貴社としてはこれまでどのような対応を取られたのですか，または想定しているのですか。トラブルの内容（故障箇所等事例）と代理店・国内メーカー，海外メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。
11	トラブル時の費用負担をどう考えていますか。次のそれぞれのケースで回答願います。（メーカー設計ミスの場合，製作不良の場合，取扱不良の場合）
12	その他，海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項，懸案事項，意見など，助言をお願いします。

２．２．３　調査結果

(1) 回答状況

アンケート調査の回答状況は，「海外機器導入の実績がないため回答なし」といったものも回答に含めると，事業者および代理店が 100%，国内メーカーが 54%であり，全体で約 80%の回答率となった。

回答があったもののうち，実績の他アンケート内容に具体的回答があるものは，事業者で 14 回答中８件（57%），代理店で５回答中５件（100%），国内メーカーで７回答中４件（57%）であり，全体では 26 回答中 17 件（65%）となった。

また，導入実績ありとの回答は，事業者で 14 回答中５件（36%），代理店で５回答中５件（100%），国内メーカーで７回答中２件（29%）であり，全体では 26 回答中 12 件（46%）となった。

(2) アンケート調査結果

アンケート調査の結果集計は，事業者，代理店および国内メーカー別に実績の有無に係わらずコメント付きの回答に対して行った。また，回答方法をすべて記述式としたため，グラフにより整理することが困難な質問に関しては，回答を箇条書きとして整理した。

なお，具体的回答が記入されているアンケート調査票（原文）は，「設計マニュアル骨子（案)」の巻末資料に添付した。

ａ　事業者からの回答

【質問－1】海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力 500kW 以下)の実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で，実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。

水車・発電機の出力別の導入台数はグラフに示すとおり，水車では 400kW 以下で合計８台，発電機では 300kW 以下で５台の実績となっている。

また，導入した際の主目的については回答数が３件のみであり，機器の効率性とコストダウンが上げられている。

なお，詳細な仕様については，巻末資料のアンケート調査票を参照されたい。

【質問－2】海外からの調達は代理店，国内メーカーを経由していますか，又は直接購入でしょうか。

海外からの調達は，代理店経由が２件，国内メーカー経由が３件，直接購入が３件の回答が上げられている。

【質問－3】海外から調達した水車・発電機等の電気機器について，納入時，据付時，運開以降に発生したトラブル，不具合等があればその内容（故障箇所等事例）と事業者，代理店・メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。

トラブル・不具合等の発生件数は，納入時５件，据付時２件，運開以降３件の回答が上げられている。

内容は，提出図面が簡素であるといったサービス的な内容から，設計不良，機器の故障等様々である。また，対応方法についても，元請けの国内メーカーによる対応や海外メーカーと直接交渉しているケースなど多様となっている。

時　期	トラブル，不具合等内容	対　応（復旧方法）
納入時	海外メーカー提出図面が簡素	元請け国内メーカーが適宜補完
	水車主軸封水廻り設計不良	海外メーカーと直接交渉
	水車 GV 廻り清掃不良	〃
	発電機工場立会試験不合格 （設計不良による保証効率未達）	〃
	発電機通風設計不良による軸受温度保証値逸脱	〃
据付時	海外メーカー提出図面が簡素	元請け国内メーカーが適宜補完
	図面等の外国語表記，規格判断に時間を要す	—
運開以降	水位調整装置の水位計の故障	同等品を国内メーカーから購入，自社関連会社で交換
	ギヤボックスの故障	国内代理店経由で部品調達，自社関連会社で修理
	部品供給に関しての体制の不備	海外メーカーと直接交渉

【質問－4】故障，部品交換が必要になった場合，どのような対応をとられたのでしょうか。あるいは，今後，どのように対応をとられる計画でしょうか。また，故障修理，部品の製作などについて，国内での対応の実績・計画・可能性を教えてください。

実施済み対応としては，故障品と同等品を国内メーカーから購入したり，代理店経由で海外から調達するケースがあり，計画としては，コストと納期を勘案して，その都度，国内調達か購入（海外）メーカーから調達すると言った回答が上げられている。

対　応　内　容		
故障・部品交換（修理，部品製作含む）	実施済み	同等品を国内メーカーから購入，自社関連会社で交換
		国内代理店経由で部品調達，自社関連会社で修理
		保証期間内であれば，契約海外メーカーから取り寄せ
		契約国内メーカーを経由して実施
	今後の計画	コスト及び納期を勘案し，その都度，国内調達，購入メーカーから調達
		国内メーカー（据付実施メーカー）にて対応
		国内メーカーで部品製作する方向

【質問－5】故障修理，部品の製作などの国内対応について，国内水車メーカー関連工場などによる対応のほか，地元の一般工場による対応，一般市販部品（規格品）による対応などの事例があれば教えてください。

地元の一般工場による対応事例が２件，一般市販部品による対応事例が１件の計３件の回答が上げられている。

対　応　内　容	
地元の一般工場による対応	新設時，水車主軸封水廻りに設計ミスがあったため，地元（建設現場）の工場にて手直しを実施
	水車の放水部が想像以上にしぶきが上がり室内が結露したため，地元の板金工事店によりステンレス製の囲いを水車本体に溶接。
一般市販部品による対応	同等品（水位計）を国内メーカーから購入，自社関連会社で交換

【質問－6】海外調達のメリット・デメリットについて，率直なご意見をいただけないでしょうか。

海外調達のメリットとしては，コストダウンに関する回答が６件上げられ，その他の回答が２件上げられている。

コストダウンに関しては，国内メーカーに比べ安価であるとの回答が多いが，近年の国内メーカーの価格低減傾向によりその効果が薄れているとの意見もあった。

その他の回答としては，海外メーカーが保有する新技術，設計思想の導入等の効果が期待できるなど知見の拡大に関したものとなっている。

メ リ ッ ト	
コストダウン	最も期待するコストダウンは近年の国内メーカ価格低減傾向を受けてその効果が薄れていると思われる。
	安価。
	初期ｺｽﾄが大幅に減。
	海外メーカーを引き込んだ国際競争入札にすることにより，国際価格での購入が可能。
	イニシャルコストの低減が可能
	マイクロ水力発電機は，国内メーカーより安価である。
その他	海外メーカが保有する新技術，設計思想の導入等といった効果が期待できる。
	知見の拡大。

一方，海外調達のデメリットとしては，トラブル時の対応に関する回答が４件，メンテナンス時のコストに関する回答が２件，その他の回答が６件上げられている。

デ メ リ ッ ト	
トラブル時対応	トラブル発生時のメーカ技術員派遣や部品調達等に関する迅速性で不安がある。
	故障時の部品調達に時間がかかる。
	トラブル時の迅速な対応ができるか懸念あり（国内メーカ経由の場合は多分ＯＫ）
	一般的には保守（迅速性，効率性）時の対応に不安があるのではないか。
メンテナンスコスト	メンテナンスコストが増大する懸念あり（一般的には部品が高い)。
	消耗品等の部品調達の高コスト化。
その他	購入請求手続きの業務量増大が懸念。
	詳細図面等が提出されない。
	標準仕様の変更等ができない。(できても高額要求をされる）
	品質の低下。(設計不良，製作工程管理不良，品質管理不良など)
	保証期間終了後の対応は，国内メーカーに比べて極めて悪い。
	技術的に海外メーカー部品の特質を把握しづらい面がある。

【質問－7】国際調達に際しての一般仕様及び技術仕様が国内メーカーと異なる点は何でしょうか。また，その納入業者選定における審査項目を教えてください（差し支えない範囲で結構です）。

仕様書（一般仕様，技術使用）の異なる点については，国内と違いなしが４回答中３件上げられ，適用規格が異なるとの回答が１件上げられている。

また，納入業者選定における審査項目については，下表に列挙した。

なお，審査項目ではないが，導入した海外機器が完全受注生産のため工事発注後でなければ生産に入れず納期に時間がかかったとの事例が上げられている。

【質問－8】国内業者と海外業者の比較となった時，保守・メンテナンスへの対応の容易さなどは，どのように評価されたのでしょうか。

回答があった３件の評価および対応を下表に示す。

国内業者と海外業者の比較・評価は実施していないが，保守・メンテナンスへの対応としては，自社（関係会社）で対応可能か否かの確認や，国内対応窓口の設置を義務付ける等を行っている。

国内と海外の比較および評価	対　応
500kW 以下は評価していない。	メーカー選定時に，自社（関係会社）で保守・メンテナンスが可能なことを確認。
―	経由先の国内メーカーを窓口。
比較検討なし。	契約時に，国内対応窓口の設置を義務付け。（運開後最低７年間）

【質問－9】機器の据付に際して，納入業者の技術者が現場で指導に当たられたのでしょうか（据付時の体制を教えてください）。

同表より技術指導の有無，対応ともに，事例により様々な体制および対応となっている。

調達方法	技術指導（据付）		対　応
代理店経由	あり	海外メーカー技術者	
	あり	代理店，海外メーカー（代理店）技術者	
国内メーカー経由	あり	国内メーカー技術者	
	あり	国内メーカー技術者	海外メーカーからは営業担当のみ
直接購入	なし		自社（関係会社）で据付実施
	なし		〃
	義務	海外メーカー技術者	契約メーカーが国内メーカーと提携し，国内メーカーから指導員を派遣させることもあり

【質問－10】機器据付完了時の試験（引渡し条件確認）などは，どのような基準に準じて実施されたのでしょうか。

試験の基準については，国内基準と同様とする回答が３件あり，その他として基準ではないが，試験の内容，引き渡しの条件について事例が上げられている。

その他（基準ではない）	
国内代理店経由	現地持ち込み渡し
	系統連携の保安上の危機想定や水位や圧力の低下時の安全確認。
	最低（最高）出力時の安定度等。
海外メーカー直接購入	海外の港渡し，または海外メーカーの工場渡しで調整

【質問－11】機器の保証期間・保証項目を教えてください。通常の国内の機器と比べて，どのような違いがあるのでしょうか。

国内メーカーから購入する場合と同様とする回答が４件，保証期間についての回答が１件上げられている。

・瑕疵担保　通常２年，重大な過失　10 年間請求

【質問－12】業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。

回答のあった５件に上げられている図面および図書は下表に示すとおりである。

図面，図書	
図　面	図　書
・シーケンス図	・基礎荷重に関する資料
・機器配置図	・取扱説明書
・水車組立平面図	・仕様書で指定したもの
・水車横断構造図	・その他
・ノズル及びニードル組立図	
・その他	

【質問－13】図面を記述する規格を教えてください。また，記載は英語または日本語でしょうか。

図面を記述する規格については，国内同様が１件，国際基準が１件，特に指定しないが２件の回答であった。

また，記載は，英語または日本語との回答である。なお，国内メーカー経由の場合，メーカーに日本語訳を依頼している。

【質問－14】トラブル時の費用負担をどう考えていまか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。
《 1.メーカー設計ミスの場合》《 2.製作不良の場合》《 3.取扱不良の場合》

トラブル時の費用負担については，メーカー設計ミスと製作不良の場合は，すべての回答でメーカー負担との回答であった。ただし，この回答中，保証期間後の場合にはユーザー負担や協議により負担割合を決定する契約を結ぶ等の注釈も含まれている。

取扱不良の場合は，ユーザー負担が４件，その他が２件であった。その他の内容としては，下表に示す内容が上げられている。

取扱不良（その他）
所有権移転前であればメーカー。所有権移転後であれば据付業者またはユーザー
場合によってはユーザー負担

【質問－15】その他，海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項，懸案事項，ご意見など，ご助言をお願いいいたします。

海外機器導入によるコストダウンの効果については，２割から３割との回答が１件であった。

コストダウン実現のための配慮事項，懸案事項については下表に示す回答が上げられているが，主な内容としては，

○契約に際して要求事項をきっちり記載する。

○海外メーカーの標準仕様を変更せずに使用する。

○海外メーカーの参加による国内メーカー市場の活性化，コスト縮減。

が上げられている。

コストダウンの効果	２割から３割（国内メーカー経由の事例）
コストダウン実現の配慮・懸案事項	国内仕様適用による価格アップが懸念されることから，海外メーカ標準仕様の採用可否確認やマイクロ・小水力機器の仕様統一化検討が求められる。
	500kW 以下を前提とすれば，海外調達の目的はコストダウンのため，海外メーカの標準品をそのまま購入することが必要であり，仕様の変更や詳細図面の要求等は行わないことが重要である。
	仕様書（契約書）に要求事項をきっちりと記載しなければ，細かいところでも追加要求がある。
	図面については国内よりかなり簡易で数も少ないので，必要であれば最初の要求事項にきっちりと記載する必要がある。
	機器仕様，引渡し条件，保証，メンテナンスの体制等を十分に確認・検討する必要がある。
	コストダウンは，海外機器の導入よりも，海外メーカーを競争に参加させることにより国際競争入札にすることが大きく影響する。それにより国内メーカーであっても，ある程度のコストダウンは可能である。
	低コスト・高品質のものは有り得ないので，価格並の事前配慮が必要。(特に海外メーカーを信用しないことが重要)
	海外メーカーは設計思想が異なることが多いので，こちらの仕様書に合わせるよりも，メーカーの標準仕様をいかに受け入れるかがポイントとなる。海外メーカーは，自社標準仕様以外のものを作ることはできないとの認識をすべき。
	国内メーカー市場をより活性化させていくためにも，ユーザーとして，海外直接調達を視野に入れていくべきではないか。
	このような調査により海外製品と国内製品の比較研究を行い，国内製品のコスト縮減につながれば国内メーカーへの需要や水力発電導入への増加が期待できるのではないか。

b　代理店および国内メーカーからの回答

【質問－1】海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力 500kW 以下)の実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で，実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。

水車・発電機の出力別の導入台数はグラフに示すとおり，水車では 500kW 以下で代理店 20 台，国内メーカー２台の合計 22 台，発電機では 200kW 以下で代理店８台，国内メーカー１台の合計９台の実績となっている。

また，導入した際の主目的については下表に示す回答が上げられている。

なお，詳細な仕様については，巻末資料のアンケート調査票を参照されたい。

導入の主目的		
代　理　店		国内メーカー
・自社研究	・工場他電源	・事業用
・自社電源	・余剰売電	
・実証試験	・市役所電源	
・環境教育	・橋梁照明用電源	
・公園内電源供給		

【質問－2】海外から調達した水車・発電機等について，調達先メーカーが出力の規模等により，さらに他のメーカー（下請け）のものを採用している事例もあると思いますが，その辺の実態を可能な範囲で教えてください。

調達先メーカーが他のメーカーのものを採用している事例（下請け）については，事例ありが代理店で３件，国内メーカーで１件の回答となっている。

ただし，この４件の事例では，出力規模による下請けではなく，元請けメーカーが水車機器の製造メーカーであるため,発電機や電気品等の自社製造でないものを他のメーカーから調達（下請け）しているとの回答となっている。

【質問－3】【代理店様にお聞きします】海外メーカーとの販売契約の締結について，貴社の対応（お考え）を教えてください。(独占販売契約等について)

販売契約締結に対する回答があった代理店（海外メーカー3 社と「排他的独占販売契約」を締結している）における販売契約締結のメリット・デメリットは下表に示すとおりである。

メ リ ッ ト
・密接な協力関係，信頼関係が築ける。
・海外メーカーの営業部門，技術部門を担当することにより，海外メーカーの経費が削減出来，通常の代理店方式よりコストダウンが可能となる。
・海外メーカーは安心して，水車特性データなどの技術データを契約代理店に提供出来る。これにより，相互連絡などの無駄が省け，顧客に対して素早い対応が可能となる。
・国際標準とは異なる日本の商習慣や顧客の要求などに対して，日本の事情に即した極め細やかな対応/サービスが可能となる。
デ メ リ ッ ト
・契約した海外メーカーが製造している水車以外のものは販売出来ないため，他に良い製品があっても取扱いが出来ない。
・海外メーカーとしては，契約した地域内ではその代理店を介さないと販売出来ないため，契約代理店の営業力が低下した場合，メーカーの販売量も低下することとなる。

【質問－4】海外調達のメリット・デメリットについて，率直なご意見をいただけないでしょうか。

海外調達のメリットとしては，低価格とする回答が代理店，国内メーカーともに多く上げられている。

低価格に関しては，標準設計（標準仕様）を導入できればとの条件付きの回答も含まれている。

メ リ ッ ト(1)		
代理店	低価格	顧客に，安くて良い製品を提供できる。
		長年に渡る経験から得られたコンセプトによりシンプルに設計された機構・構造や，無駄なサービス（図面協力等）を省くことでコストダウンしており，低廉な価格で供給できる。
		低価格。
		標準化しており，設計コスト面でコスト的に安価。
	その他	日本のメーカーの奮闘が期待できるため，日本のメーカーの発展，国際競争力の向上が図られる可能性がある。
		小型が豊富。
メ リ ッ ト(2)		
国内メーカー	低価格	価格競争力
		低価格
		海外メーカの標準設計（仕様）を導入できれば，国内にて製作するより安価になる。
		低コスト
	その他	海外向けの書類充実
		据付容易

一方，海外調達のデメリットとしては，トラブル時の対応に関する回答（技術員派遣や部品調達の迅速性，メンテナンス含む）の他，下表に示す回答が上げられている。

デメリット	
代理店	海外と日本の商習慣にはギャップがあり，このギャップをどう埋めるかに時間やエネルギーを費やすことがある。
	海外との距離や時差などの物理的ギャップがあるため，このギャップを埋めるため，緊急時に備えた技術要員や保守対応品などを備えておく必要がある。
	海外メーカーは日本語による対応が出来ないため，顧客に対する図書などの日本語化の作業が発生する。
	メーカ標準仕様を著しく変更するような場合は，コストアップに繋がり場合によっては対応が困難になる。
	トラブルが発生した場合は，国内メーカに対応してもらい，適宜，遠隔からの指示を行う。ドイツから技術者が来ることは希である。
	制御システムを日本の基準に合わせなければならず，制御機器の変更，改造を必要とすることがある。
	輸送コスト増
	為替変動に対する問題あり。
	取引単位が少ないため輸入コストが高い。
国内メーカー	納期品質管理の手間
	クレーム対応の遅れ
	品質が不十分
	国内の発注仕様書によっては，標準設計（仕様）以外の仕様では，導入できないかもしくは改造費用がかかる。
	図面等の提出は困難。
	導入後の保守対応の問題及び部品調達に時間を要する。
	保守拠点が日本に無い，必要な要求図面が出ない/遅い/限定される。
	保守部品が調達しにくい。

【質問－5】使用材料，部品のうち，日本国内で手に入らない特殊なものがあれば教えてください。

日本国内で手に入らない特殊なものとして回答があったものを下表に示す。一方, 調達可能なものとしてベアリング, パッキン等の交換部品が上げられている。

国内調達不可な材料，部品	
メーカー独自の加工品	ランナ本体，水車部品，発電機本体
電気部品	ほとんどが日本製の代替や部品組み合わせで対応可能だが，一部不可能なものがある

【質問－6】使用部品は日本国内で製造・修理が可能でしょうか。その際，特殊な設備が必要でしょうか。また，型物の場合の対応はどのようにお考えでしょうか。各部品の予備品等は代理店もしくは国内メーカーがストックしているのでしょうか。または海外メーカーが本国にストックしているのでしょうか。

使用部品の日本国内での製造･修理については, 代理店では可能であるが２件, ケースバイケースが１件であり，海外メーカーへ依頼するが２件であり，国内メーカーでは可能であるが２件の回答となっている。

特殊な設備については, 大型部品ではないので特殊な設備は必要とせず町工場や自動車修理工場で十分対応可能である，との回答が１件。また，型物の修理に関しては, 計画的修理になるため日本の技能者が対応不能であればメーカーから技能者を招き対応する，との回答が１件上げられている。

予備品のストックについては, 基本的には海外メーカーが本国にストックしている。なお，国内でストックしているとの回答が代理店で１件あるが，これは一般的な部品については代理店でストックしているとの回答である。

【質問－7】スペアーパーツが必要になり国内に製品がない場合，納入にどのくらい時間が必要でしょうか。

スペアパーツの納入時間については，代理店で５件，国内メーカーで３件の回答が上げられているが, 下表に示すとおり３～４日程度から最低６ヶ月とばらついた回答となっており，海外メーカーの対応（迅速性）の差，スペアパーツの種類等が影響しているものと考えられる。

	納入時間	備　　考
代　理　店	3～4 日程度	汎用品/標準品，クーリエ使用
	約 2 週間	空輸
	4 週間程度	特殊品
	7～10 日	
	1 ヶ月	巻き線
国内メーカー	パーツ製作日数＋輸送，通関	製作日数は日本製と同じ
	2～4 週間	
	最低 6 ヶ月	

【質問－8】業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。

回答のあった代理店４件, 国内メーカー１件に上げられている図面および図書は下表に示すとおりである。

図面，図書		
図　面		図　書
・外形（寸法）図	・基礎参考図	・水車特性データ
・据付図面	・組立図	・発電機データ
・（主要）部品図	・回路図	・取扱説明書
・製作図	・その他	・保守点検説明書
・接続図		・基礎荷重，強度計算書
・シーケンス図		・仕様書で指定したもの
・配置図		・その他

【質問－9】図面を記述する規格を教えてください。また，記載は英語，日本語または現地語でしょうか。

規格については，JIS 規格，EU 規格，IEC 規格，BS 規格，DIN 規格が上げられている。

また，記載は英語，ドイツ語，日本語との回答である。なお，代理店において日本語訳を実施しているとの回答が１件上げられている。

【質問－10】トラブルが発生した際，貴社としてはこれまでどのような対応を取られたのでしょうか，または想定しているのでしょうか。トラブルの内容（故障箇所等事例）と代理店・国内メーカー，海外メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。

トラブル発生時の対応として回答のあった代理店５件, 国内メーカー３件のトラブル内容とその対応について下表に示す。代理店，国内メーカーともに具体的なトラブル内容に記載がないものが多く, またその対応についても多様となっている。

	トラブルの内容	対　応
代　理　店	－	・顧客窓口対応, 原因調査, 対策/復旧を代理店（自社）で実施。 ・必要な技術要員，補修部品を確保
	・エロージョン	・国内タービンメーカーまたはエンジニアリング会社が対応 ・タービンを SS から SUS に更新。海外メーカーが製作，国内タービンメーカーが据付指導
	・国内修復可能な場合 ・部品調達の必要な場合	・国内で修復 ・調達して修復
	－	・日本国内の水車メーカーとアフターサービス協定締結
	－	・小型機が主なため返送依頼
国内メーカー	・技術的な事項	・海外メーカーとの直接対応
	－	・代理店を通して部品購入
	－	・国内メーカーから海外メーカーへ連絡対応

【質問－11】トラブル時の費用負担をどう考えていまか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。
《 1.メーカー設計ミスの場合》《 2.製作不良の場合》《 3.取扱不良の場合》

代理店におけるトラブル時の費用負担については, メーカー設計ミスと製作不良の場合がメーカー負担４件，その他が１件の回答であり，取扱不良の場合は，ユーザー負担が４件，その他が１件の回答であった。また，その他の内容としては，下表に示す内容が上げられている。

国内メーカーにおけるトラブル時の費用負担については，メーカー設計ミスの場合メーカー負担２件とその他が１件の回答であり，製作不良と取扱不良の場合は，それぞれメーカー負担が１件とその他が１件，ユーザー負担が１件とその他が１件の回答であった。その他の内容としては，下表に示す内容が上げられている。

その他		
代　理　店	ﾒｰｶｰ設計ﾐｽ	協議事項
	製作不良	協議事項
	取扱不良	内容によりユーザー又は代理店負担
国内メーカー	ﾒｰｶｰ設計ﾐｽ	標準品としているので設計ミスはない。基本的に欧州メーカーは売り切りで日本のような無償のアフターサービスはあり得ない。
	製作不良	同上
	取扱不良	同上

【質問－12】その他，海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項，懸案事項，ご意見など，ご助言をお願いいたします。

コストダウン実現のための配慮事項, 懸案事項については下表に示す回答が上げられている。

コストダウン実現の配慮・懸案事項	
代　理　店	小さい容量の場合，全体（土木機器，水車発電機器）をひとつのシステム製品として１社で取り纏めた方が経済的に優位となる。海外の小水力メーカーは，これらのシステムをひとつと考え，除塵機，ゲート，バルブなども一緒に製造している会社もあるため，海外メーカーの機器を導入する場合，これらの土木機器も一緒に発注すると大きなコストダウンを図ることが可能である。
	小水力の場合は，メーカー標準の設計思想を尊重し，いたずらに非標準のものを要求しないことでコストダウンが図られ，またこれに関連し，図面や図書類に提出要求にしても，メーカー標準のものをベースとすることが，コストダウンに繋がる。
	海外メーカーでは対応が困難なもの（系統連系の技術要件）については，国内で調達するというように，相互に補完しあうことで，コストダウンが図られる。 同時に，現行の日本の系統連系ガイドラインの技術要件について，国際標準をベースに見直しすることで，大幅なコストダウンが図られる。
	海外メーカーと一口に言っても，千差万別，多種多様で，安かろう悪かろうの製品も多いし，経営的にも問題がある会社もあります。品質や実績，与信などをしっかり調査して購入することが，本当のコストダウンになる。
	発注者側はメーカーの供給能力，設計思想などを理解し，お互いにコストダウンとなる方法を知恵を出し合って模索することが一番重要なコストダウンの方法であり，これが永続的な両者の発展となり，更なるコストダウンに繋がる
	海外メーカの商習慣，設計思想を尊重することが重要。それが日本国内の需要化にマッチすれば（マッチさせれば）間違いなく，コストダウンに繋がる。リスクはあるが，思い切って海外メーカに責任施工をとらせることも必要。
	以前はメーカーの制御機器に不十分な点もあったが，現在は国内でこれを解決する制御機器を開発しており特に問題がなくなったため，コストダウン効果を生かして十分利用できるようになっている。
	日本の場合，300kW～15,000kW の水車も同様の資料提出要求がある。容量により最低限の資料の要求をされるべきである。
	河川の使用許可が出ないのが問題である。
国内メーカー	一般的に海外メーカーはオーダー設計を行なわない。製品ラインナップから最適なものを探し出すことがポイントである。(同様他１件)
	品質よりも価格を優先する顧客には推奨する。

２．２．４　回答結果まとめ

アンケート調査の結果，得られた回答からは，事業者，代理店および国内メーカーともに大きなトラブルはなく，トラブル・メンテナンスについても各々工夫しながら対応していることが確認できた。

ａ　導入実績

(a) 事業者：水車８台，発電機５台

(b) 代理店：水車 20 台，発電機８台，国内メーカー：水車２台，発電機１台

ｂ　トラブル・不具合の発生件数と対応

事業者からの回答として，納入時５件，据付時２件，運開以降３件。

- 内容：提出図面が簡素などサービス的な内容から，水車設計不良，ギヤボックスの故障など。
- 対応：元請けの国内メーカーによる対応や海外メーカーと直接交渉しているケースなど多様。

ｃ　海外調達のメリット・デメリット

(a) メリット

事業者，代理店および国内メーカーともにコストダウンに関する回答が最も多く，その他として新技術，設計思想の導入や日本メーカーの発展などが上げられている。

(b) デメリット

トラブル時対応（迅速性，部品調達の時間など），メンテナンス時の部品調達などの高コスト化，提出図面の不備，標準仕様変更の難しさなどが上げられている。

III　実例(実証試験)に関する調査・検討

第１章　個別地点の実例(実証試験)に関する調査・検討

第１章　個別地点の実例（実証試験）に関する調査・検討

本章では，水道施設，砂防ダム，農業用水路への小水力発電導入に関する実例調査を実施し,その結果をとりまとめて，個別地点への適用に向けた資料とした。

今年度の調査地点を表Ⅲ-1.1 に示す。

表Ⅲ-1.1　調査地点

対象施設	調査地点	事業者	設備概要
上水道施設	西原浄水場	沖縄県企業局	Q=1.3m^3/s，H=30.4m，P=341kW
	庄和浄水場	埼玉県企業局	Q=0.222m^3/s，H=21m，P=38kW
農業用水利施設	山一発電所	山一産業㈱	Q=1.06m^3/s，H=16.4m，P=131kW
砂防ダム	清和発電所	山都町（旧清和村）	Q=2.0m^3/s，H=14.4m，P=190kW

１．１　水道施設への小水力発電導入に関する実例調査

簡易発電システムの対象施設である水道施設への小水力発電施設の設置は，既往の設備を利用できることと安定した発電が可能になることが多いため，近年事例が増えている。

水道施設への小水力発電計画は，パイプライン中に設けられている減勢弁などの減勢施設に注目したものが多く,その減勢によって失われていたエネルギーを電力として吸収するものである。パイプラインの他には，水道専用ダムの維持放流や,浄水場内の越流部・落差工・放流工などが考えられるが事例は少ない。

水道施設への小水力発電計画においては，地方自治体などが事業者になることが多く，できる限りのコストストダウンが求められている。従って，簡易発電システムとして調査・検討してきた要素技術の採用による効果が期待されるところである。

簡易発電システムの要素技術によるコストダウン対応方法としては，土木設備のうち，新設する管路への一般市販管の採用,発電所基礎・建屋の簡略化が考えられる。また，電気設備では，インライン型プロペラ水車やポンプ逆転水車，サイフォン型プロペラ水車の採用，永久磁石発電機とインバータの採用，汎用型 PLC の採用が考えられる。さらに，維持管理面では，水道施設内の技術者による主任技術者の兼務や簡易通報装置の導入よるコストダウンが期待される。

以上の事項を念頭に置き，水道施設における小水力発電設施設を設置した２つの実例について調査を行い,その結果を考察した。

１．１．１　西原浄水場小水力発電設備

西原浄水場は,沖縄県企業局が管理する水道用水のための浄水場で,上流の調整池から流入する落差を利用して発電を行っている。発電施設を設置する前は場内の調整池の手前に配置された減勢弁により減圧していたが，発電設備の導入により騒音が小さくなったという効果も認められている。



写真III-1.1 西原浄水場発電施設の全景



写真III-1.2 水車発電機が設置されているポンプ室建屋

有効落差 30.4m，最大使用水量 1.3m3/s，出力 341kW であり，横軸フランシス水車と誘導発電機により年間 2,400MWh を発電している。設備稼働率は 80%程度であり，安定した発電を継続している。

事前に送付した調査票をもとにヒヤリングを行い,そこで確認された事項を以下に示す。

1) 本発電所は，調節池（バルブ室）建設時から計画されていて，スペースは確保されていた。
2) 調整池手前に減勢弁を設置し，そこで圧力調整していたが，音が非常に大きく，バ

ルブ室内での会話が難しかった。水車発電機設置後はかなり静かになった。

3) 発電した電力は100%所内で消費する（全体の11%程度）。
4) 系統には直接連係していないが，所内の配電の機構を調整したうえ，電力協議の結果を考慮して逆電力リレーを設置した。
5) 厚生省の補助金が75%確保できたため，企業局負担分は比較的少なくなり，5年程度で回収可能と考えている。
6) 現時点で200万円/月程度の経費軽減となっている。
7) 発電最大使用水量は浄水場の最大計画流量にあわせている。発電効率が最も高くなるのは 5000㎥/s/hr であるが，現在の西原浄水場の処理水量は平均 5500～6000㎥/s/hr であって，比較的低い効率で運転している。他の浄水場で 500～1000㎥/s/hr を負担してくれれば，もっと高い効率で運転可能であり，更なる経費低減（発電）が可能となるが，なかなか難しい。
8) 日間の処理量の変動はほとんどないが，年間では若干変動がある（最大48万㎥⇔最低35.8万㎥）。
9) 取水位の変動はほとんどない。
10) 北部の水源地から導水してきているが，途中に工業用水用の浄水場が存在する。西原浄水場で使用する原水は工業用水として処理をされたものである。
11) 発電所建設に対して，発電使用のための水利権は申請していない。
12) 運転開始よりこれまで特に問題はない。
13) 水道用水の利用のため，水道の基準に準拠したものとなる。また，水車の塗装に関しては，環境ホルモンに関して問題ないことを確認した塗料を使用している。
14) 運転監視は，浄水場内の中央監視室で，浄水設備とともに常時実施している。
15) 定期点検（チェック項目に対する目視確認）は，浄水場の点検にあわせて月に 1 回実施している。

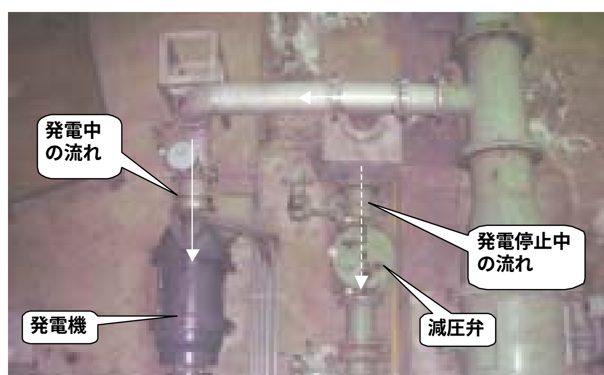
また,調査結果を昨年度実施したモニタリング表に整理した。現地の写真と合わせ,「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

１．１．２　庄和浄水場小水力発電設備

庄和浄水場は,埼玉県企業局が管理する水道用水のための浄水場で,場内の送水ポンプと浄水池との間に生じている約 21mの落差を利用して発電を行っている。発電施設を設置する前は場内の調整池の手前に配置された減勢弁により減圧していたが，西原浄水場の場合と同様に,発電設備の導入により騒音が小さくなったという効果も認められている。

庄和浄水場の発電設備は,もともと(財)水道技術研究センターによるフィールド試験（実証試験）の一環として付設されたものであり，水車発電機による水道水質への影響や浄水場の運営に与える影響の有無を確認することが目的であった。平成 15 年 2 月から 17 年 3 月までの約 2 年間のフィールド試験の結果,水道用水の水質への影響，および，浄水場の運営に与える影響は，ともにないことが確認された。

フィールド試験の完了後は施設がすべて県に委譲され，現在も順調に運転を続けている。



写真III-1.3 水車発電機の全景



写真III-1.4 水車発電機



写真Ⅲ-1.5 減圧弁(水車発電機が停止の場合，自動的に稼動する)

有効落差 21.0m，最大使用水量 0.222m3/s，出力 38kW であり，インライン型プロペラ水車と水車に内蔵された誘導発電機により年間 260MWh 程度を発電している。設備稼働率は 99%程度であり，極めて高い稼働率で安定した発電を継続している。

事前に送付した調査票をもとにヒヤリングを行い,そこで確認された事項を以下に示す。

1) 本発電所は、既往設備（ポンプ）の制御限界（計画値と実績値の差に対応する送水圧の調整ができない）によって発生している余剰圧力に対し、既往の減圧弁による対応を水車発電機に切り替えて、未利用のエネルギーを電力として取り出したもの。
2) もともとはクボタの提案であり、最終的に(財)水道技術研究センターによるフィールド試験として約 2 年間の実証試験を実施。その結果、水質及び浄水場の運用に影響を与えないことを確認。
3) 平成 17 年 3 月 31 でフィールド試験は完了。そのご、施設は県に委譲され、県の管理下で継続的に稼動している。平成 16 年度の稼働率は 99%。今年度も故障もなく順調に発電している。
4) 県としては、水質と浄水場の運用に影響を与えないことを条件にフィールドを提供。発電停止時に送水が止まると、送水先の PC タンクの塩素が不足する可能性があるため、発電停止に時には自動的に既設ライン（減圧弁）に水が流れるよう、自動制御としている。また、水質に関しては、濁度、pH、残塩素、温度について継続的に監視した。2 年間の試験プラス今年度の状況では、水質、浄水場の運用ともに全く問題はない。
5) 運開より約 7 ヵ月後の平成 15 年 10 月に分解点検を行ったが、羽根車周り、メカニカルシール部、ドレーン室等、全ての点検箇所が正常な状態であることを確認した。
6) フィールド試験中の維持管理は財団が実施し、県への委譲後は、浄水場の担当者が対応。日常点検と月例点検は他の機械類と同様に浄水場担当社が実施するが、年に

一回の定期点検は業者に依頼する予定。今年度は 2 月中にメーカーによる定期点検を実施予定。メカニカルシールの交換を予定している。

7) 保安規定は、県企業局の水道事業に対応するものに、“ 小水力発電設備 ” に関する項目を追記した。

8) 発電装置設置前は 30 年前から稼動中の減圧弁の音が気になっていたが、水車発電機に切り替わった結果、音が小さくなった。財団のフィールド試験結果としても、騒音の低下が報告されている。

9) トラブル発生時は事務所へ警報が伝わるが、遠隔操作はできない。出力等の計測・監視記録は、経費削減のため、浄水場全体のシステムの中には取り込まず、発電基盤に直結した専用の PC で対応した。

10) 電気主任技術者は浄水場の主任技術者が兼務、ダム水路主任技術者は工務部職員（土木職）を選任申請し、認定された。

11) 竣工検査としては、運転前試験として、①発電気の相回転方向確認、②ケーブル絶縁・耐圧試験、③接地抵抗測定、④保護継続器単体テスト、試運転時試験として、⑤発電機単独試験、⑥発電機連動試験、⑦発生電力確認、⑧保護装置テスト、⑨系統への影響確認試験、を実施した。いずれも問題はなかった。

12) 流量の制御は、既存装置によって浄水場の管理室から遠隔制御されるが、発電システムは浄水場の運用に完全従属なので、発電機が止まった場合などは、自動的に従前ライン（減圧弁）に切り替わる。

13) 発電機故障（UVR、OVR、OCR、RPR）または系統連係故障（UVR、OVR、UFR、OFR）時には、発電機停止し、主遮断器 OFF となる。

14) 系統連係は、場内の低圧ラインに連係した。全体の容量に比べて発電機の出力が小さいため、“ みなし連係 ” とされ、逆潮なしで設計している。電力会社との調整は全てフィールド試験実施者が対応。

15) 発電計画としては 10 年での償還を想定しているが、現実的には難しいと考えている。ただし、庄和浄水場の場合は設備が無償で譲渡されたため、経済性についての判断はできない。現状で、年 250 万円程度の経費削減となっている。

16) 希望・要望事項等としては、太陽光発電等にある認定品制度の導入、標準的な設計指針の作成、太陽光・風力発電並みの補充の充実、ダム水路主任技術者の省略、など。

また,調査結果を昨年度実施したモニタリング表に整理した。現地の写真と合わせ,「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

１．２　砂防ダムへの小水力発電導入に関する実例調査

簡易発電システムの対象施設である砂防ダム水道施設への小水力発電施設の設置は，既往の設備を利用できることと，砂防ダム自体が全国に数多く分布していることから，有望な開発地点として期待されるが,実績はまだ少ない。

砂防ダムへの小水力発電計画は，既設砂防ダムに取水用の孔をあけての利用が多いが,その他，水通し（越流部）下流面へ腹付けの形でチロリアン形式の取水設備を設けた事例もある。

一般的には，砂防ダム上流面から取水し，導水路，ヘッドタンク，水圧管路を経て，下流の発電所で発電する形式が多く,減水区間に対する維持流量の検討が実施されている。その他，砂防ダムの副ダムからの取水や砂防ダム直下での発電の事例（この場合は減水区間がない）もある。

なお，砂防ダムにおける最大の問題は土砂や落ち葉,ゴミ等の流入であり，これらを効果的に防除して，発電効率を高めることが課題となる。

砂防ダムへの小水力発電計画においても，地方自治体などが事業者になることが多く,できる限りのコストストダウンが求められている。従って，簡易発電システムとして調査･検討してきた要素技術の採用による効果が期待されるところである。

簡易発電システムの要素技術によるコストダウン対応方法としては，土木設備のうち,効果的な取水施設（取水形式）の選択，新設する水圧管路への一般市販管の採用，発電所基礎・建屋の簡略化が考えられる。また，電気設備では，効率的な水車，永久磁石発電機およびインバータの採用，汎用型 PLC の採用が考えられる。さらに，維持管理面では，事業者事務所内の技術者による主任技術者の兼務や電気保安協会への委託，簡易通報装置等の導入よるコストダウンが期待される。

以上の事項を念頭に置き,砂防ダムに小水力発電設施設を設置した実例について調査を行い,その結果を考察した。

１．２．１　清和発電所

清和発電所は山都町（旧清和村）が開発した既存砂防ダムを利用した発電所である。砂防ダムに取水口を儲け，穴あけによりダム下流面に通水し，φ1500 のヒューム管により約 300m下流のヘッドタンクまで導水，さらに，約 15m の落差を水圧管路でつなぎ，川岸に建設した発電所で発電している。



写真Ⅲ-1.6 取水地点の砂防ダムの全景



写真Ⅲ-1.7 清和発電所全景

有効落差 14.4m，最大使用水量 2.0m3/s，出力 190kW であり，クロスフロー水車と誘導発電機により年間 950MWh を発電する計画である。

しかし，取水口の堆砂や落ち葉の流入により取水量が少なくなっているため，稼働率が低い状態が続いおり，事業者としては改善方法を模索している状況にある。

事前に送付した調査票をもとにヒヤリングを行い,そこで確認された事項を Q&A 形式で以下に示す。

◎ 土木設備

Q1．土砂や枝葉，ごみなどにより，取水口の閉塞，取水効率の低下，維持流量放流管の閉塞など，問題が発生したことはありませんか。

A1．出水時に取水口前面に土砂が堆積し取水口を閉塞してたり、取水口内に流れ込み堆積している。また、土砂流入に加え秋は落葉が多いため取水効率の低下は起こっている。

Q2．取水口の点検，枝葉・ごみの除去などは，どの程度の頻度で，どなたが対応されているのでしょうか。

A2．設備全般のメンテナンスについては、運開以降未だ業者へ委託していないため、１日１回役場担当者（総務振興課）が対応している（委託の予定はあるが、人手が見つからない状況にある）。

Q3．取水口前面に土砂が堆積してしまった実績はありますか。その場合，どのように対処されたのでしょうか。

A3．上述のとおり出水時に堆積する。砂防堰堤上流部で砂利採取を行っている地元業者に委託している。今年はこれまで５回浚渫した。

Q4．取水口内に土砂が堆積してしまった場合は，どのようにして土砂を排出するのでしょうか。

A4．一度取水口ゲートを閉めてから再度開放することで維持流量放流管から排出している。

Q5．台風時などの洪水時においても，計画通りの取水が可能だったのでしょうか。

A5．出水時には発電を停止している。現在、運用方法が決まってなく、発電を停止する具体的な基準（雨量、流量等）もないが、4 月 28 日の運開以降 9 月は 16 日間が出水等により停止した。稼動日数は、日誌により確認することは可能である。

Q6．導水路（φ1500HP）への土砂堆積は特に問題になっていないのでしょうか。

A6．土砂が流入しないよう注意している。仮に流入してもヘッドタンクまで流下してしまい、現在は導水管の中には堆積していないと思う。

Q7. 導水路内の点検等を実施されたことはありますでしょうか。あるとすれば， そのときの状況を教えてください。

A7．特に点検等を実施しているわけではないが、何度か５箇所あるマンホールから導水管内を確認している。出水後に上流部で 5～10㎝ 程度堆積したことはあった。

Q8．導水路の漏水はありませんか。
A8．今のところは無い。施工時の継目のチェック等、試験を実施したか不明であり、試験データも無い。

Q9．ヘッドタンクへの土砂や枝葉，ごみなどの流入は，問題ありませんか。
A9．取水口から入った落葉がヘッドタンクスクリーンに溜まってしまい、使用水量の低下が生じている。このため、１日１回排砂ゲートを開放することにより（発電停止）ヘッドタンク内水位を低下させ落葉を除去している。自動除塵機が必要だったと思う。

Q10．ヘッドタンクの排砂門を開放して，排砂を行った実績はありますか。あるとすれば,そのときの状況を教えてください。
A10．秋期は定時ではないが、取水口点検の際に毎日開放している。排砂ゲートを開放した際、夏場に１～２回下流の河川が濁り苦情が出たことがあった。

Q11．ヘッドタンクの点検，枝葉・ごみの除去などは，どの程度の頻度で，どなたが対応されているのでしょうか。
A11．１日１回役場担当者（総務振興課）が対応している。

Q12．発電所や放水口で，台風など河川の増水時に問題となるようなことはなかったですか。
A12．下流での被害はないが、放水口付近に土砂堆積してしまう。現在も放水口が 1/4 程度埋まっている。

Q13．“青葉の瀬”の景観に配慮されたとのことですが，発電所や放水口の評判はいかがでしょうか。
A13．見学者が少ないためか、特に無い。

Q14．発電所の振動・騒音等は問題になっていますか。
A14．特に無い。

Q15．土木設備全体の定期点検の項目と頻度（間隔）を教えてください。また，土木設備の日常の点検はどなたが，どのように実施されていますか。
A15．１日１回役場担当者（総務振興課）が対応している。

◎ **電気設備**

Q16．発電所の運転制御、監視はどのように行われていますか。

A16．発電所に常駐はなく、１日１回役場担当者（総務振興課）が対応している。遠隔監視盤は役場内にあるが、運転停止等は現地で行っている。

Q17．水車・発電機について，事故時の対応はどのように行われていますか。

A17．電気保安協会と設備設置業者が対応している。落雷で絶縁関係が故障したことがあったが、すぐに復旧した。また、緊急停止装置（ボタン）に不具合があり、発電が停止してしまったことがあった。その他、本体等の故障は今のところ無い。

Q18．系統連系について、その保護・運用はどのような仕様となっていますか。また，電力会社間との運用ルール等があれば教えて下さい。

A18．電気保安協会に管理委託（年間）。

Q19．砂防ダムでは年間を通して流量の変動が大きいと思われますが，特に問題はなく，当初計画通り運転されているのでしょうか。

A19．水量が多すぎると土砂の流入があり、少なすぎると電力量が少なく、難しい。例え取水口で２㎥/s 以上取水しても、砂防堰堤背面の取水路（開渠部）でのオーバーフローにより導水路への流入が減少しているように見受けられる。

Q20．クロスフロー水車による変流量対応，誘導発電機を採用したことによる系統への影響は期待通りだったでしょうか。

Q20．分からない。

Q21．これまでの運転実績（時間，発生電力量，稼動率），また，不具合実績があれば教えて下さい。

A21．電力量は少なく、稼働率は低い。

Q22．電気設備に関する巡視並びに点検項目と頻度を教えて下さい。また，電気設備の日常の点検はどなたが，どのように実施されていますか。

A22．月２回、電気保安協会が実施。

Q23．運転を開始してから，機器の合理化，簡略化，省略が可能と感じられるような点があれば教えてください。

A23．水量の変化に応じて水車ガイドベーンの切り替え（1/3、2/3）を人力で行っているが、自動化により効率化が図れるのではないか。

Q24. 今後の点検計画について教えて下さい。また，水車・発電機のオーバーホールなどのメンテナンス作業時に，合理化，簡略化，省略しようとする事項について，計画があれば教えてください。

A24. 特に無し。２年度からメーカーと契約する予定。

◎ **その他**

Q25. 管理体制（発電所の全体施設を管理する部署，人員，など）を教えてください。

A25. 山都町役場　清和総合支所　総務振興課　３名

Q26. 電気主任技術者およびダム水路主任技術者は，どのような方を選任されていますか。

A26. 九州電気保安協会および役場職員（建設水道課の職員で、運開時のみ）

Q27. 継続的に実施している計測項目はありますか。ある場合，計測場所，項目を教えてください。また，監視体制・監視方法を教えてください。

A27. 発電所内機器温度、所内温度等の表示のみ。データ出力は、鉄管設置の超音波流量計による流量のみ。

Q28. 保安規程の内容を教えていただけませんか。

A28. 別途貸与する。

Q29. 計画時と現在（実績）で，大きく異なるようなことはありますか。

A29. 発電量が大きく異なる。前述のように所定の流量を導水出来ないことと、９月は 2/3 が停止であった等稼動日数が少ないことによる。ちなみに、計画では 365 日に対して停止日数は２日であった。

Q30. 運転開始後に，改良・改善を行ったような設備・対応・工夫などがありましたら教えてください。

A30. 想定外の現象であったが、緑川の水温が 14～15℃であるのに対し発電所の室温が 30℃程度あるため、水車、鉄管周りに結露が発生し発電所内が冠水して非常に危険な状態である（所内には排水ピットはない）。

Q31. 現時点での課題（問題点）などがあれば，可能な範囲で教えてください。

A31. 前述のとおり、取水ダムの堆砂および落葉の問題。また、A19 にも関連するが、ダム取水口から導水路までの開水路部分が直角に曲がった線形になっているた

め、取水量が多い時にはオーバーフローし最大発電の持続が出来ない状況が生じた。対策として水路の嵩上げが必要ではないか。

Q32. 発電所の評判はいかがでしょうか。地元の方々に，どのように受け止められているのでしょうか。
A32. ＰＲしていないためか、あまり知られていない。

Q33. 発電所建設の影響・効果（環境学習の材料になった，来訪者が増えた，など）について，特に気づいたことがあれば教えてください。
A33. 数件、小学生が見学に来た際に NEF 作成のパンフレットにて説明を行った。

Q34. 今回の事業実施を通して，こうすればさらに小水力の普及が図れるだろう等のご意見（法律上の規制緩和等を含めて），改善すべき事項などがあれば，教えて下さい。
A34. 計画までに現地調査を含め諸検討の時間が必要ではないか。
　許認可の手続きに際して関係機関の窓口が１つであれば、手間、時間ともに楽になり、もっとスムーズになるのではないか。
　事業化に向けてコストの問題が大きい。しかし、イニシャルコストばかりではなく、ランニングコストも考慮した総合的な評価が必要。（例えば、自動除塵機は高価とのことから設置していないが、現状のメンテナンス（落葉排除等想定以上）を考えると、自動除塵機の必要性についてもっと検討が必要だったのではないか。）

以上のように，いくつかの課題があることがわかった。
これらの課題は,可能な限り設計時に配慮すべき事項であるが，既設砂防ダムへの対応のように制約条件が厳しく,どうしても事後対策が必要となるケースもある。本地点は，事後対策が必要となったケースであるが,この事例に学ぶ形で,簡易発電システムとして配慮すべき事項を検討した。その結果を以下に整理した

1) 砂防ダムを利用した発電施設における取水口上流面の土砂堆積への対応

⇒ 簡易発電システムとして砂防ダムを利用する場合，取水口前面における土砂堆積に対し，以下の対応が考えられる。

a) 現地状況を勘案し,できるだけ土砂が溜まりにくい地点（みお筋近く）を取水口として選定。

b) 取水口前面への土砂堆積を想定した取水方式（浸透式，サイフォン，バースクリーンなど）の選定。

c) 取水口前面部の土砂を容易に排除するために土砂吐や排砂管等を設置（砂防ダム管理者との協議が必要)。

d) 取水口前面部の土砂を人為的に排除しやすくするための進入路等を整備。

2) 取水口スクリーンへ付着した枝葉・ごみへの対応

⇒ 枝葉・ごみなどの流下が多い場合，以下の対応が考えられる。

a) 簡易的な網場の設置

b) 人力でのゴミ排除が安全で容易にできるよう，施設面での工夫（スクリーンの傾き,スクリーン上部のスペースの確保，他）を施す。

c) 取水地点が離れている場合や人的余裕がない場合（管理が容易でない場合）は，自動除塵機の設置について検討する。

3) 取水口に入ってしまった土砂への対応

⇒ 取水口に入ってしまった土砂を効果的に排除すためには，以下の対応が考えられる。

a) 土砂が入りにくいような構造（適切な取水口敷高の確保など）とする。

b) 取水口内における土砂吐ゲート，排砂管等の設置

c) 人力による排除を安全・容易に実施するための設備（ステップ，スペースなど）の確保

4) 台風時などにおける対応

⇒ 台風や集中豪雨，上流における河川工事実施時など，川の水が土砂を多量に含んでいる状況においては，以下の対応が考えられる。

a) 一定水位以上では取水口制水ゲートを閉鎖

b) 一定濁度（水の色）では取水口制水ゲートを閉鎖

c) 操作(運用)規則の策定・運用

d) ゲート操作の自動化については,自動化に伴う費用と,維持管理の容易さなどを考慮して決定する必要がある。

5) 水槽(ヘッドタンク)における土砂や枝葉・ごみへの対応

⇒ 土砂や枝葉・ごみなどの流入が多い場合，以下の対応が考えられる。

a) 取水口における土砂や枝葉・ごみなどの流入阻止

b) 導水路・水槽の開放部に対する蓋かけ

c) 人力でのゴミ排除が安全で容易にできるよう，施設面での工夫（スクリーンの傾き,スクリーン上部のスペースの確保，他）を施す。

d) 水槽地点が離れている場合や人的余裕がない場合（管理が容易でない場合）は，自動除塵機の設置について検討する。

6) 放水口周辺の土砂堆積への対応

⇒ 放水口周辺の土砂堆積に対し，以下の対応が考えられる。

a) 現地状況を勘案し,できるだけ土砂が溜まりにくい地点を取水口として選定。

b) 放水口周辺の土砂堆積を想定した放水口の角度，高さの決定。

c) 放水口周辺の土砂を人為的に排除しやすくするための進入路等を整備。

7) 発電所建屋内の排水に関する対応

⇒ 簡易発電システムとして発電所基礎・建屋を極力小規模・簡易化することになるが，漏水・結露などが多い場合，以下の対応が考えられる。

a) 排水溝・排水ピット・排水管などの設置。

b) 自然排水ができない場合は排水ポンプの設置。

c) 発電所内の温度・湿度調整（エアコン，ファン等の設置）

8) 維持管理費用（ランニングコスト）への対応

⇒ 簡易発電システムとして初期投資（イニシャルコスト）を極力低減させる方針であるが,維持管理費の増大を招くようであれば問題となる。適切な維持管理費とするために，計画・設計段階において，以下の事項について配慮する必要がある。

a) 発電所の維持・管理の経験がほとんどない（少ない）地方自治体等の方々が管理する場合があること。

b) 簡易発電システムにおいて対象とする施設（砂防ダム，発電ダム（維持放流設備)，農業用水利施設，上工業用水利施設，下水道水利施設）それぞれにおいて,維持管理の内容・対応量が異なること。

c) 枝葉・ゴミなどの対策が課題となる場合における自動除塵機の必要性。

d) 極力，維持管理が安全・容易に実施できるような設計。

e）計画時における経済性評価において，維持管理費を適切に評価すること。

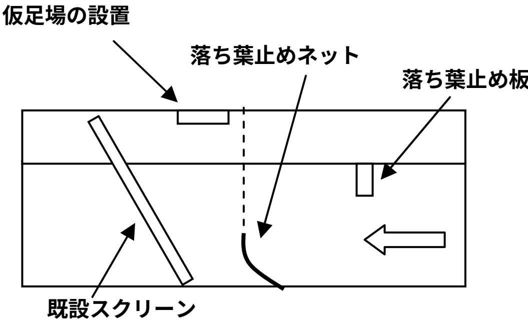
また，本地点の問題事項に対するもともとの設計思想と現時点での対応策の例を取りまとめた（表Ⅲ-1.1）。

さらに，調査結果を昨年度実施したモニタリング表に整理した。モニタリング表については，現地の写真と合わせ，「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

表Ⅲ-1.1 清和発電所の対策について

問題点	設計思想（担当したコンサルからの回答）	対策案
取水口の前面に大量の土砂が堆積してしまう。取水口の位置が適切か？	砂防堰上流の河川状況から，河川に流芯方向が容易であり，また，土砂堆積が少ない左岸に設けた。	**対策案１．** 既設の砂防堰の穴あけ箇所を現在の取水口より河川中心方向にずらし，低標高に穴あけする。これに水位連動の自動ゲートを設置し，洪水時の排砂ゲートとして利用する。穴あけ箇所の左岸沿いに横取り式の取水口（荒めのスクリーン）を設置する。取水した水は別途設ける穴あけにより，導水路へ接続する。暗渠の入口手前に安価な除塵機を設置する。 **対策案２．** 既設の取水口の上流部を塞ぎ，側面のスクリーンより取水する。これにより土砂・塵芥等の直接流入を防ぐことが出来る。併せて側面のスクリーンの間隔を広げる。また砂防堰背面の開渠部分に除塵機を設置する。（近傍に電源がないので，無電源方式の水車式除塵機を設置） **対策案３．** 落葉等の塵芥が多い期間（１０月～１２月）に簡易な網場を設置し，落葉等の塵芥の流入防止を図る。それ以外の期間は，取り外しておく。ただし，設置期間に洪水等があれば破損の可能性大。 **対策案４．** 土砂対策として砂防ダム上流に 2 種類のフトンカゴを配置。ひとつは流れのと同じ方向にダム越流天端より低くする。もうひとつは、先に設けたフトンカゴの上流端から 45°程度の角度で左岸部地山まで、ダム越流天端より高くする。（注意：ﾌﾄﾝｶｺﾞ B の取水口側底部が洗掘されないように考慮する必要あり） また、取水口の土砂吐機能追加として、取水口直下に農業用の安価な土砂吐ゲート設置 さらに、取水時の流れを緩やかにするため、取水口直下の屈曲部水路の内側（上半分程度）を曲線になるように加工。とりあえずは簡易な板などで様子を見て、うまくいくようであればコンクリート打設。 いずれも、様子を見ながら、少しずつ対策を試みる。

表Ⅲ-1.1 清和発電所の対策について

問題点	設計思想（担当したコンサルからの回答）	対策案
取水口前面に付着した土砂・塵芥等が容易に取り除くことが出来ない。取水口の構造は適切か？	現構造の他にサイホン案及びチロリアン方式が考えられたが，経済性と施工性を重視した検討を行い，河川管理者と協議の上，左岸袖部穴空け案を採用した。	前記と同様。
取水口の取水角度が直角のため，土砂・塵芥等が直接取水されてしまう。	取水口の位置関係から季節により多量の塵芥が予想されたが，自動除塵機設置は経済的に高くなり，村との協議の上，雇用創出を考慮して人力による処理を選択した。	前記と同様。
堰出口の水路が直角のため乱流となり越流し，最大使用水量が取水できない。	砂防堰開口部と開水路の取付けは現状 90 度の鋭角となっているが，水理特性から，曲線，若しくは緩角度で取り付けた方がよりスムーズな流れとなる。しかし当方法では下流の河川区域内に設けることとなり，河川管理者との協議の上，砂防堰背面に沿わせる形状とした。	前記対策案に併せて，開渠部分を嵩上げし，越流を防ぐ。
ヘッドタンクのスクリーンに大量の塵芥（落葉）が詰まり，出力低下及び緊急停止が発生する。	ヘッドタンクに設けたスクリーンは，塵芥流入により水車・発電機に影響を与えないように取水口で洩れ込んだ塵芥を，更に取り除く役目をするものである。	**対策案１.** スクリーンの間隔を現状のものより広げ，落葉等のクロスフロー水車への流入はある程度許容し，ヘッドタンクスクリーンでは落葉以外の小枝等の水車に影響があるものだけ除去する。 **対策案２.** 水車式自力型除塵機を設置する。 **対策案３.** スクリーン手前の水面付近に、網場状の落ち葉止め板を設置。表面に浮いた落ち葉のみ補足し、水槽水位上昇により余水吐から排出。また落ち葉止め板の 1m 程度下流に、水槽下部を沈降しながら流下する落場補足用の市販のビニールネットを水路下半分に吊り下げ、ネットの上下端に棒とロープを取り付けて、巻き上げ容易な構造とする。 いずれも、様子を見ながら、少しずつ対策を試みる 
発電所内に結露が発生し，近接する電気機器等に影響を及ぼす。	所内の維持管理として，換気扇（室内温度 46 度で自動運転開始）を設置した。	**対策案１.** 結露発生原因となる鉄管周辺に保温材を巻き，結露の発生を抑える。 **対策案２.** 結露の発生は許容するかわりに，発電所床面に適当数の側溝・排水ピットを掘り，結露水を集め，ポンプにより発電所外へ排出する。（打ち増する方法も考えられ，安価な方を採用する）
入口弁の操作電源がバッテリーだけなので，緊急時（バッテリー故障時）には入口弁を閉鎖することが出来ず，主機停止することが不能となる。	バッテリー電源喪失時の対策としては，水車のガイドベーンに自己閉鎖特性を持たせており，制御電源断時にはガイドベーンが自動閉鎖する。（現状は，ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝﾀｰﾝﾊﾞｯｸﾙが固定されており，自動閉鎖は不可）	**対策案１.** 既設のバッテリーと併せて，緊急用としてバッテリーを増設する。 **対策案２.** 入口弁の操作機構を自己重錘型のものに改造する。 **対策案３.** ガイドベーンターンバックルを固定させない。
搬入ハッチ等が設置されていないので，水車や発電機の更新時には，機器の出し入れが出来ない。	屋根部分を一括取り外し，クレーンにて搬出を行なうように計画した。	発電所建屋の側壁部分を開閉可能もしくは容易に着脱可能なタイプに改造する。併せて，水車や発電機等の重量物を吊上げ可能な簡易型クレーン等を設置する。（改造は緊急性がないので，水車・発電機の更新時に併せて実施するのが良い）
放水口土砂堆積の防止	？	放水路上流側に河川内の転石を利用して，簡易な導流提を築造する。

１．３　農業用水利施設への小水力発電導入に関する実例調査

簡易発電システムの対象施設である農業用水利施設への小水力発電施設の設置は，農業用のダムや調整池を利用するものなどの事例が見られたが，近年，小流量小落差に対応した水車発電機の開発に伴い，農業用水路の落差工や急流工に対応した事例も見られるようになった。

農業用水利施設への小水力発電設備の導入は，基本的に農業用水の運営に完全従属となる場合が多く，また，かんがい期と非かんがい期で流量が大きく違うことが多いため，この流量変動に対応することが課題となる。

また，砂防ダムの場合と同様に，落ち葉，ゴミ等の流入が大きな問題となっており，これらを効果的に防除して，発電効率を高めることが課題となる。

農業用水利施設への小水力発電計画においては，地元の土地改良区などが事業者になることが多く，施設を利用する多くの農業従事者の合意を得る必要がある。そのため，できる限りのコストストダウンが求められており，簡易発電システムとして調査・検討してきた要素技術の採用による効果が期待されるところである。

簡易発電システムの要素技術によるコストダウン対応方法としては，土木設備のうち，効果的な取水施設（取水形式）の選択，新設する水圧管路への一般市販管の採用，発電所基礎・建屋の簡略化が考えられる。また，電気設備では，効率的な水車，永久磁石発電機およびインバータの採用，汎用型 PLC の採用が考えられる。さらに，維持管理面では，事業者事務所内の技術者による主任技術者の兼務や電気保安協会への委託，また，地元の農業従事者への管理委託，簡易通報装置等の導入によるコストダウンが期待される。

以上の事項を念頭に置き，農業用水路に小水力発電設施設を設置した実例について調査を行い，その結果を考察した。

１．３．１　山一発電所

山一発電所は昭和初期に運転を開始した民間の発電所で,農業用水を水源としている。

山一発電所は平成16年度にヘッドタンク，水圧管路，発電所建屋,水車発電機，制御盤等の電気設備一式を全面的に更新した。更新に際しては,海外製の水車発電機及び除塵機を採用し,コストダウンを実現させた。



写真III-1.8 ヘッドタンク，水圧管路，発電所の全景



写真III-1.9 水車発電機全景



写真III-1.10 農業用水路と除塵機

山一発電所は，有効落差 16.2m，最大使用水量 1.0m3/s，出力 132kW であり，フランシス水車と誘導発電機により年間を通して安定した発電を行っている。

取水源となる農業用水路には多くのゴミが流下し，発電の障害になっていた。今回の改正では海外製の“ 掻きあげ型 ”の除塵機を採用し,スクリーンに補足されたゴミを水面近くまで掻きあげ，水面上には出さずにそのまま余水吐から下流へ放流させてしまう形式としている。海外製品によるコストダウンとともに，ゴミの処理に掛かる労力（コスト）も低減させている。

事前に送付した調査票をもとにヒヤリングを行い,そこで確認された事項を以下に示す。

1) 本発電所は、昭和 37 年に運開。もともとは撚糸工場の電源及び動力源として運転していた。現在の機器（昨年更新）で 4 代目。3 代目は電業社製で，中部電力で使用していた機器を中古で購入した。メンテナンスは自社の技術者が対応していた。現在も基本的には自社内で対応し，部分的にメーカーに対応してもらっている，
2) 最大出力は 132kW。本日(H17.10.14)の出力は 120kW 程度。水量は比較的豊富。
3) 水車発電機はチェコのマーベル社製。設置時にはマーベル社の技術者が派遣され，現場で設置作業を行った。
4) 設置後，少し経過してから発電機の前方フロントの温度が上昇傾向にあったため，送風装置を設置して温度を低下させた。
5) 発電した電気は，自社工場（撚糸工場），自宅，隣接するスポーツクラブ(屋内プール)で使用。余剰電力は電力会社に売電。現時点では収支ぎりぎり。
6) 水利権交渉は継続中。0 年前の建設当時から，農業用の水利権の一部として，地元から認められていた。
7) 水車発電機の更新に伴い,取水施設及び水圧管路を更新。水路のゴミが最大の懸案事項であったため，チェコのマーベル社製の除塵機を設置した。
8) 除塵機に付随するスクリーンは，海外仕様で間隔が大きかったが，実情に合わせてさらに細かい間隔のものに更新した。設置後の対応で,地元の鉄工場に委託し，低価格で作成した。
9) 除塵機は，タイマーによる間欠作動と，取水口と水槽の水位差(20cm／設定値変更可)による自動作動による。
10) アーム式の可動部によりスクリーンに張り付いたゴミを掻きあげるが,水面上に上がる手前でスクリーン後方上部の水路に導き，余水とともにもともとの水路に，ゴミを放流する構造としている。この構造により，ゴミは水面上に引き上げず，ゴミ処理の対応を省略している。
11) 要望として，小水力に対する電力会社の購入価格をもう少し上げてもらいたい。

本発電所は，昔から農業用水路に付随してきた発電所であり，水利権などについても農業用水との共存してきた好事例である。海外機器の導入や維持管理面でのコストダウンを図っているが, 簡易発電システムの要素技術である一般市販管の採用により, 更なるコストダウンを実現する可能性がある。

調査結果を整理し，昨年度実施したモニタリング表とした。さらに現地の写真と合わせ,「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

第２章　個別要素技術に関する データ収集・分析および評価

第２章　個別要素技術に関するデータ収集・分析および評価

本章では，一般市販管，海外水車，永久磁石発電機およびインバータ等の採用地点などの実例調査をおこない，その結果をとりまとめた。また，単独運転検出装置に関する事例調査や発電機の選定についての分析結果をとりまとめて，簡易発電システムとしての個別要素技術を採用するための資料とした。

２．１　一般市販管に関する調査・検討

一般市販管に関する要素技術調査の充実を目的に，内圧管として使用されている水道管，農業パイプラインなどの実例を調査するとともに，管材としての基本性能や製作現場における管理状況等を確認するため，対象各管の工場の調査を実施した。

対象各管の協会およびメーカーの協力により，以下の調査を実施した。

表III-2.1　一般市販管調査地点

	管種	管径	調査地点	備考
1	ポリ管	400㎜	水道用水圧送管（施工済地点）	静岡県静岡市，設計水圧 80ｍ
2	リブ管	900 ～ 1200㎜	農業用水圧送管（施工現場）	北海道開発局，設計水圧 10ｍ
3	塩ビ管	-----	製作工場	三菱樹脂（株）
4	ポリ管	-----	製作工場	三井金属ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ（株）
5	リブ管	-----	製作工場	大日本ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ（株）
6	ＰＣ管	-----	製作工場	三菱ﾏﾃﾘｱﾙ建材（株）

主な調査項目は以下のとおりである。

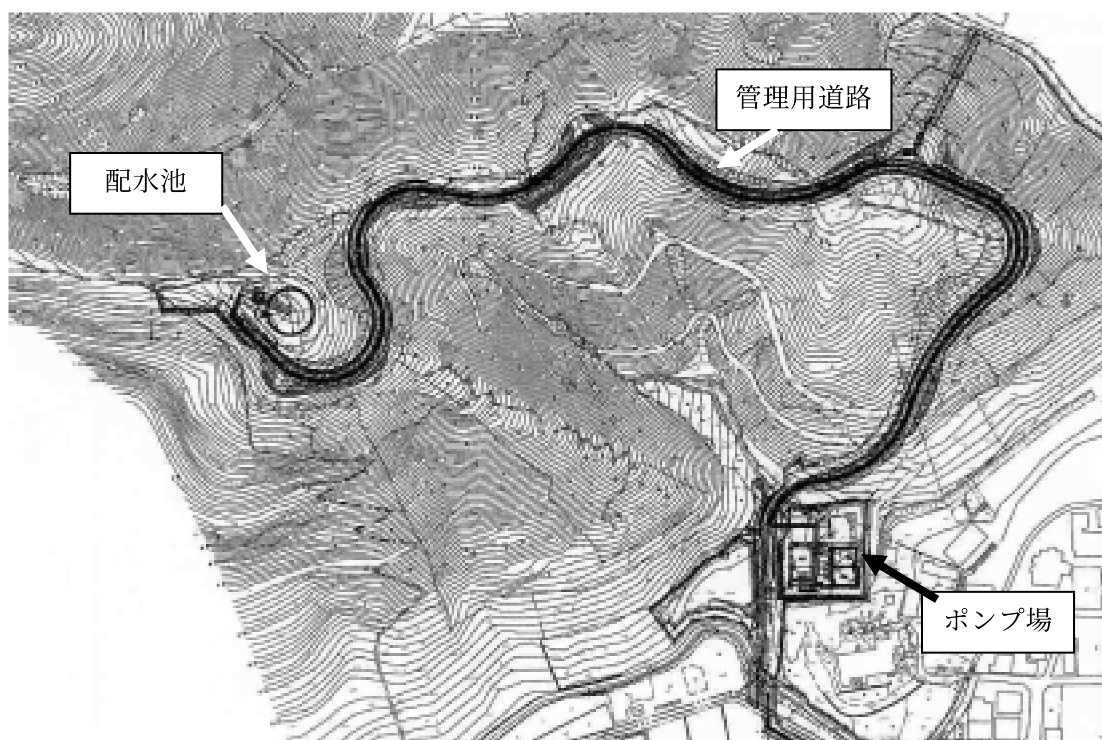
- 水圧管としての性能（水密性，耐久性，など）の確認
- 問題発生の有無，発生時の対応方法
- 工場出荷時の試験項目と内容（メーカー規程事項等）
- 建設時の施工状況，現場試験の内容と結果
- 定期点検項目
- その他，問題点など

２．１．１　施工現場における調査・検討

(1) ポリ管施工地点（S 市）

本地点はS企業局が建設した新設ポンプ場と配水池を結ぶ延長550㎜の管路であり，80mの高低差がある。また，ポンプ場と配水池の運用から，φ300 の送水管が 2 本，φ300 の配水管が 1 本，φ200 の排水管が 1 本の，計 4 本が埋設されている。

本地点は，図Ⅲ-2.1 に示すように，比較的急な地形となっており,急勾配できつい曲がりの多い管理用道路が設けられている。用地の関係から，管路はこの管理用道路に埋設することが基本条件とされ,幅3mの道路の中に4本の管路を埋設する必要があった。



図Ⅲ-2.1　現地概要

本地点では，曲がりが多い基本線形に対応可能なこと，狭い区間に4本の管路を並列に施工しなければならないこと,施工時間が限られていたことなどから,一般的なダクタイル管と水道分野で一般的に使われているポリエチレン管について，比較検討を実施した。

その結果，経済性，施工性ともにポリエチレン管が有利と判断され,採用にいたったものである。しかし，φ300 のポリエチレン管は現行の水道用の JIS，あるいは，水道協会基準(JWWA)のいずれの規格にも該当しなかった。そこで，日本水道協会にφ300 のポリエチレン管について立会い試験を依頼し，その結果から日本水道協会の認定を得ることで一定の品質を確認した。

現場では，認定を受けた証明（管に水道協会の認定品のロゴが印刷される）を確認

することで品質管理を実施した。

なお，この認定は，立会い試験を実施した材料と全く同じ原料を使った管材のみに与えられるものであり，原材料の入手時期が異なると適用されない。そのため,後日,別の現場で採用する場合には,改めて，立会い検査にもとづく認定が必要となる。



写真III-2.1 急勾配・急カーブの連続する施工現場

また，近傍地点に置ける施工中の現場についても視察したが，φ300 のバット融着作業を，１箇所あたり約１時間で仕上げていた。施工現場では，一定区間ごとに気密試験を実施し,継手部の水密性を確認する。また，バット融着の作業直後には,外側に盛り上がったビード（こぶ）の大きさを確認することにより,品質管理を行っている。



写真III-2.2 現場バット融着準備状況



写真III-2.3 現場バット融着作業中



写真III-2.4 現場バット融着完了後のビード（こぶ）の大きさ確認中

事前に送付した調査票をもとにＳ市の担当者に対してヒヤリングを行った。そこで確認された事項を以下に示す。

1) ポリ管付設現場は高速道路サービスエリア（計画７万台/日）への給水用のポンプ場と配水池（タンク）を結ぶ送排水管として計画。用地の制限から、急勾配かつ曲がりの多い管理用道路下に埋設する必要があった。
2) 必要な管は送水用にφ300 を２本、配水用にφ300 を１本、排水用にφ200 を１本であり、狭い区間に併設しなければならなかった。
3) また、オーナーである道路公団との協議から工期が限られていた。
4) ダクタイル管との比較の結果ポリ管を採用したが、ほとんど直線の区間がないことから経済性の面でポリ管のほうが有利となった。その他、時間的な制約から判断して、施工性に優れるポリ管を採用することとした。メンテナンスがほとんど不要なことも有利であった。

5) 高低差が 80m、管路延長が 500m以上あるため、ロスを低減させることから、ポリ管の滑らかさ（粗度係数が小さいこと）も有利であった。
6) さらに、弾性係数が小さいため、水撃圧（ウォーターハンマー）が小さくなることも判断材料となった。
7) 耐震構造が前提であったため、ダク管で屈曲部にスラストブロックをおくことに対し、ポリ管ではスラストブロックが不要になることも有利となった。
8) 現場は民家にも近く、万が一漏水等が派生した場合、周辺への被害発生の可能性があるため、十分な水密性を保持しなければならないが、ポリ管の場合は接合直後の状況（埋め戻し前）で気密試験により接合部等の水密製を確認できる。
9) ダク管に比べて軽量で、ある程度の区間（200m の急勾配区間）に対して一気に施工（掘削・付設・埋戻し）できるため、工期短縮が可能となった。200m の急勾配（20%程度）区間をまとめて施工できたため 1 ヶ月程度で完了。管の付設については 1 週間程度で完了。
10) 今回は 10m もので現場に搬入。200mの急勾配区間では、ポンプ場近くの一定位置で接合（融着）作業を行い、ウインチにより、順次、管を引き上げた。
11) 静岡市水道局として、規格（JIS あるいは AWWA（水道協会規格））外の製品であったため、水道協会に検査を依託し、所定の検査を実施してもらった。検査はメーカー工場の近隣にある協会支部の検査官が立会い、試験結果等を確認して認証する。
12) 市としては、その検査に合格した「協会認証品」であることを確認することで、現場に適用可能と判断した（具体的には、協会済みであることを示す協会マークの確認）。現場では、市の担当者ができるだけ立会い、施工状況を監督した。
13) 協会認証は、あくまでも対象とする資材に与えられるものであり、工場に与えられるものではない。したがって、工事毎に認証の手続き・対応が必要になる。
14) 現場では、適当な区分ごとに気密試験を実施し、水密製を確認した。気密試験は一定の圧力（水と空気の分子の大きさから規定される圧力）で実施され、確認は、空気漏れの音がないことで判断した。
15) 耐用年数は、水道法による規定で 40 年であるが、ポリ管としての 50 年も念頭においている。
16) 施工現場では、チェックシートにより管理を行った。
17) 今後、特に定期的な点検等は考えていない。先行して採用されている本四橋公団の今後の対応方法などを参考にして、市としての保守の方針を決定する予定。

18) 万が一に備えて、汎用性もあるステンレス製のリペアー材を保守・修理担当部門が保持している。

19) 水道では、一般に、融着時に発生する内ビード（圧接により発生する肉盛状のこぶ）はダク管接合部の溝と同様に考えて削除しない。

20) ポリ管のメリットは“安い”、“早い”、デメリットは実績が少ないこと。

21) また、市街地等での採用にあたっては、既設埋設管等との取り合いに苦労する場合がある。

22) その他、45 度程度の急勾配部へ、釣り配管としての採用実績がある。

23) 現場は地質状況も悪く、小支台等の構築も難しい状況であったため、ポリ管の一体構造によって、上部から吊り下げることで対応した。

24) 安定性については、管事態の引張強度に期待することもできたが、前例もなく、安全性を考慮して、ワイヤーにより吊り下げる構造とした。

25) 管の周辺はフリーフレームの骨組みを設置し、管とその骨組みの周辺を厚層基材吹き付けにより保護した。

26) また、周辺での水道配管材として、いくつかの工事箇所でポリ管を採用している。

27) 市内の施工箇所（初めて採用した説明箇所及び現在施工中の箇所）を視察。内容は写真参考。

S 市ではポリエチレン管の優位性を確認し,市内の別な現場でも仕様を進めている。現地の写真を「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

(2) リブ管施工地点（H 局）

本地点は H 局が建設した農業用水の送水管であり，10m 弱の設計水圧が作用する。管の径はφ300〜2,200 と幅広く，また，泥炭地であることから地盤の変位にある程度は追従できることが条件とされた。

局では,ダクタイル管，FRPM 管，塩ビ管，高耐圧ポリエチレン管（リブ管）について比較検討を実施し,その結果から径によって管種を使い分けることとして,φ600〜1,100 の部分についてはリブ管を採用することとしている。

採用理由としては,経済性に加えて,地盤への追従性，水密性が有効とされた。

現場は厳寒期にあり，工事のサイクルから融着の現場作業は確認できなかったが，施工済み区間の状況と現場溶接設備（コントローラ）を見ることができた。



写真III-2.5 現場状況（融着作業時にはテントで囲われる）



写真III-2.6 現場融着装置（コントローラ）

事前に送付した調査票をもとに局の担当者に対してヒヤリングを行った。そこで確認された事項を以下に示す。

1) 採用理由は、コストダウンを図りたかったこと、FRPM の施工時に問題が発生（施工時の傷が後々漏水等の問題を誘発させている可能性があった）することがあったことを背景に､軟弱地盤への対応（地盤追順性が高い）と泥炭に起因する酸性水に強いことを考慮して、諸検討の上採用した。
2) 昨年度実施した試験施工（φ1650）でも､漏水については問題が無かった。経済性の面でも有利であった。
3) 昨年の試験施工部について、現在、管高（設置高さ)、たわみなどを定期的に計測している。設計に比べてたわみなどが大きくなっている。安全性の面では問題ないと思うが、設計の面で、受動抵抗係数(e’)や安全率、基礎地盤のゆるみをどこまで許容するか、などの項目をどのように整理・決定すべきか、現在検討中である。
4) 今年度末の技術発表会で、検討結果を発表する予定である。
5) 昨年度の試験施工時には経済性も良かったが、今回の本施工では他の管との接合部（異型管）が高価となるため､経済性の面では FRPM と同程度となっている。採用に当たっては研究機関,コンサルタントなどにも相談しながら検討を行った。
6) 施工についても､塩ビや FRPM のような差込型の継手ではないため、たとえ EF 継手だとしても時間はかかる。
7) EF 継手によって管が一体化し漏水の心配は少なくなるが、FRPM でも多くの実績があり、設計上，漏水の心配はない。したがって、リブ管の採用に関しては、やはり経済性の面で有利であることを説明する必要がある。
8) リブ管では、埋戻しには FRPM や塩ビ管などのようにビリ砂利による周面保護（埋戻し）が不要で､現場発生材をそのまま使えるため、建設発生土の処理が抑制されることが利点となる。
9) PC 管の採用については、塩ビ管との比較で不利となるため、採用されることはほとんどない。
10) 鋼管については、最近溶接の時間が短くなり、異型管なども工場生産されるようになってきたことから、採用されるケースがある。防蝕の必要が無ければ比較の対象となりえる。
11) 農政におけるパイプラインは埋設が基本であり、漏水しないことが重要であるため、定期的な計測・点検等は特に実施していない。漏水個所が発見された場合には、基本的にその管を交換するため､維持管理（ランニングコスト）はあまり問題とせず､建設時のコストが重要となっている。

現地の写真を「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

２．１．２　製作工場における調査・検討

(1) 塩ビ管製作工場

塩ビ管の製造状況、基本的な性能試験の実施状況、工場における品質管理状況等について、塩ビ管・継手協会及びメーカーのご協力により調査した。

基本的な試験は JIS に準じて実施され,既定以上の強度を確認した。

工場では、事前に送付した質問表に応じた質疑応答に続き、製造状況、試験状況を確認した。ここで確認された事項を以下に示す。

1) 材料は原料である極細粒状のポリ塩化ビニル樹脂と安定剤、顔料等で、原料の樹脂は国内調達のみであり、タンクローリーで搬入。
2) 管の製造は押出成形（加熱したシリンダーの中でプラスチックを溶かしながらスクリューで押し出し、口金を通すことで円筒形に成形する）により行う。
3) 製造ラインは、押出機→口金→整形具→冷却水槽→印刷機→引取機→切断機→移管機であり、口金がメインの設備である。
4) 受口は冷却後にヒーターにより加熱し加工する。
5) 冷却水は工場内で循環して使用。
6) 工場は常時３交代制で 24 時間稼動している。
7) 塩ビ管の基本長は 4m/1 本であり現設備では５ｍまで製造可能。ガス用のポリエチレン管では 9ｍまで製造可能。
8) 硬質塩化ビニル管には、リブ付き（～φ450)、リサイクル三層管（中間層にリサイクル材を使用、無圧用）がある。
9) 偏平水圧試験は、協会基準 AS25 に準拠して実管にて実施（外径の５％偏平、内圧 2.0MPa、１分間保持。供試管は VMφ400、ゴム輪接合。）試験の結果、水漏れ等問題がないことを確認。
10) 引張試験の実施。2 ピース（供試管は VMφ400）の試験結果(降伏強度 53.7,53.8MPa)は、いずれも JIS に規定される値(47.0MPa)を満足。
11) 偏平試験を VMφ400 の供試管により実施。結果は、JIS に規定されるとおり外径が 1/2 になるまで圧縮しても、割れ及びひびは確認されなかった。なお、完全に偏平するまで継続して圧縮したが、少々変色が見られたものの割れ及びひびは確認されなかった。
12) ビカット軟化温度試験の実施。3 ピース（供試管は VMφ400）の試験結果(84.3,84.4,83.8℃)は、いずれも JIS に規定される値(76.0℃)を満足。
13) 塩ビ管の特性として、堅いが粘りがあり偏平しても割れることはない。熱による伸縮は大きく、紫外線等による劣化により、伸びや衝撃値が低下の傾向を示す。
14) 接合に関しては、一般の施工業者で問題ない。ただし、芯出しが重要である。

15) 水圧管路として使用する場合、ゴム輪が推奨されるが、曲がりの箇所では特に管の離脱が多いので、離脱防止器具を付けることを薦める。
16) 気温については、国内で使用するのであれば問題はない。ただし、内部の水が凍結する場合、気温が５℃以下の場合での接着の場合は注意が必要である。
17) 鉄管等異種管との接続は、塩ビ管－鋳鉄管等変換ドレッサーや押輪付きフランジ等、バリエーションはある。また、管径を落とすには、FRP 製の方落ち管等で対応することになる。
18) 塩ビ管の類似品は、現在の日本国内ではない。ただし、VU 管(ゴム輪接合、接着接合)には圧力用と無圧用があるので、発注の際には注意。
19) 大口径のエルボはない。

(2) ポリ管製作工場

ポリ管の製造状況、基本的な性能試験の実施状況、工場における品質管理状況等について、メーカーのご協力により調査した。

基本的な試験は JIS に準じて実施され,既定以上の強度を確認した。

工場では、事前に送付した質問表に応じた質疑応答に続き、製造状況、試験状況を確認した。ここで確認された事項を以下に示す。

1) 出荷毎の通常試験は、外観・寸法・構造試験であり、スペックに記載される場合（客先が要望する場合）は指定された試験（引張試験等）を実施する。
2) 水道協会の指定工場であるため、月に 2 回の協会立会検査を実施している。
3) その他、客先より、特異な状況への対応を求められた場合、性能を確認するための現場試験などを実施することもある。
4) 露出配管の場合、鋼管などで用いる伸縮継手はポリエチレン管が伸びるときの状況により“偏り”が発生する可能性があるため、伸縮に対する回復性といった面で問題がある。伸縮（温度応力）については管自体で対応可能であるため、基本的には伸縮継手を採用しない。
5) 原材料は直径 2㎜ 程度の細粒状で、国内調達の他、韓国からの輸入物もある。
6) 製品価格のうち原材料の割合が高い。工場は、国外でも稼動中。現在繁忙期にあり、24 時間体制で、休日も稼動させている。
7) 紫外線防御のためのカーボンは JIS 規格で 2%以上と規定されており、本工場では 2.25%混入させている。
8) ドラムに巻きつけない場合の出荷長さは標準で 10m、長くても 13㎜。
9) 製品の冷却は水によっているが、工場内で循環させて利用している。夏は、水の冷却に電気代がかさむ。

10) 引張試験の実施。3 ピースの試験結果(降伏強度 29.1,28.9,29.1Mpa)は、いずれも JIS に規定される値(19.6Mpa)を満足。
11) 接合部溶着はφ250,SDR11 の実管で実施。融着完了後継手部水密試験を実施。JIS 規程の試験方法により実施し、問題ないことを確認。
12) 溶着部に発生する内面の“ こぶ ”は、溶着作業後に専用の器具で除去が可能である。
13) EF ソケット継手に関しては、施工性に優れるが、ソケット自体は輸入物であり、価格的にも高くなる。

(3) リブ管製作工場

リブ管の製造状況、継目の水密試験の実施状況、工場における品質管理状況等について、メーカーのご協力により調査した。

水密試験は JIS に準じて実施され,既定以上の水密性を確認した。

工場では、事前に送付した質問表に応じた質疑応答に続き、製造状況、試験状況を確認した。ここで確認された事項を以下に示す。

1) 出荷内圧管については、高耐圧ポリエチレン管協会として対応。
2) 製造は、一本ごとのバッチ生産。スパイラルワインディグ工法で、ひとつの機械で全ての内径に対応できる。細い管ほど早く仕上がり、太くなると時間が掛かる。
3) 直管部とその両端の挿し口と受け口がセットになって製造され、ゴム輪継手の場合はゴムが入り込むスペースを後から削りだす。EF 継手の場合は、後から熱線を埋め込む。
4) 各種試験については協会資料を参照。様々な試験を実施。
5) 出荷毎の通常試験は、外観・寸法試験。各管に対する伝票（各種の情報が記載されている）が出荷まで貼り付けられている。
6) リブ管のメリットは軽いこと、加工しやすいこと。ベント管の製作は、基本的に直管を必要角度に切断して、一方を 180 度回転して溶接するので、自由な角度が割安に製造可能。
7) 原材料は直径 2㎜ 程度の細粒状。カーボン入りの材料を使用。
8) 接合の際は、差込部と受口部の接合部を清掃した後、中心を保ちながら、レバーブロックを使って適切に差し込む。状況に応じて、受け口の外側にベルトヒータを取り付け、少し軟らかくして差込作業を容易にすることもある。
9) 規定の位置（あらかじめマーキングされている）まで差し込んだ後、電熱線の端子にコントローラを接続して準備完了。コントローラにより、接合温度

（電圧）・時間、冷却時間が制御される。

10) 融着完了後は、事業者との協議内容に合わせて、接合部の現場試験を行う。また、施工完了後には有水試験を実施する。
11) 管を製造する機械はドイツ製。工場は 24 時間対応可能。
12) ゴム輪継手用も EF 継手用も製造過程は同じ。
13) ベント管等の直接溶接部（樹脂盛溶接）を行った箇所に対しては、溶着部にワイヤーを埋め込んでおき、高圧の電源を近づけてスパークが発生するかどうかで、気泡（ピンホール）の有無を確認する。ピンホールがあった場合、不合格となる。
14) 継手部の内圧試験を実施。内側から継手部に内圧を作用させる特性のリングを装着し、0.5Mpa の内圧を作用させ、外側からの水漏れがないことと、5 分間保持して 80%内圧が保持されていれば合格。
15) 水漏れがあった場合は現場溶接によって対応する。

(4) ＰＣ管製作工場

PC 管の製造状況、継目における水密試験の実施状況、工場における品質管理状況等について、メーカーのご協力により調査した。

水密試験は JIS に準じて実施され,既定以上の水密性を確認した。

工場では、事前に送付した質問表に応じた質疑応答に続き、製造状況、試験状況を確認した。ここで確認された事項を Q&A 方式で以下に示す。

1 工場で製作されている製品（プレストレストコンクリート管（以降，単に“ＰＣ管”と略します)）が準拠している基準は？

Ａ：JISA5373 プレキャストプレストレストコンクリート製品　附属書４暗きょ類推奨仕様 4-1 プレストレストコンクリート管

2 通常，製品出荷時に実施される試験の種類と方法は？

Ａ：製品による曲げ強度試験及び内圧強度試験があり、JIS 規格により 50 本を１ロットとして抜取検査を行っている。試験の方法は JISA5363 プレキャストコンクリート製品－性能試験方法通則及び推奨仕様 4-1 プレストレストコンクリート管に示す方法。

3 現場状況に応じて，通常試験とは別に，会社として自主的に実施した試験があれば，その理由，試験内容，成績をご提示いただきたい。

Ａ：基本的なものとしては製品による内圧破壊試験、外圧破壊試験、カバーコー

トモルタル耐久性試験等がある。

内圧破壊では概ね規格試験内圧に対してコンクリートの引張抵抗応力を内圧に換算した相当以上の余裕があり、φ1000 の二例では対規格比 1.55～2.33 倍となっている。これらの結果から JIS 規格ではひび割れ内圧として試験内圧に 0.2MPa を加えた数値としている。また、管体にひび割れが発生して漏水状況となっても水圧が低下すればプレストレストの存在によって漏水は滴下程度にまで低下する。

外圧試験ではひび割れ発生強度が規格値の 1.38～1.44 倍以上、破壊が 2.29～2.59 倍以上となっている。ここで破壊の「以上」は試験機能力から、実際の破壊までには至らなかったものである。

カバーコートモルタル耐久性試験は、潮汐によって海面から上下する位置に設置したＰＣ管から、概ね５年毎にコートモルタル試料を採取して中性化、被浸食作用、劣化度等を調査したものであるが２０年までの結果では表面から数㎜程度の中性化を認めたのみである。このモルタルによって被覆防護されている PC 鋼線にも異状は認められていない。この結果は土木学会第 42 回年次学術講演会でも発表されている。

4 発注者からの指示で，通常試験とは別に，実施した試験があれば，その理由，試験内容，成績をご提示いただきたい。

Ａ：圧力管路は管本体と継手部から構成される線形構造物と考えられるが、管本体については社内検査及び顧客による製品立会検査時における確認試験実績等の蓄積があり、規格値に対して十分の余裕があると考えている。また、内圧試験時には試験機の構造特性から管体と同時に継手の水密性能も併せて確認がされている。

もう一つの、重要な管路構成要素である継手部については、製品検査とは別に、製品２本を接合し，内圧を保持した状態で、継手部に曲げ、外部的な変位、集中載荷等を行い継手部の限界性能を確認している。中大口径管が多かった状況から試験はφ1350 及びφ1800 で実施された例が公開されている[*4]。農水省の場合、これらの試験結果などから継手部に対する設計水圧が定められ標準形で 0.6MPa、押輪併用形で 0.9MPa となっている。

また、15 年間使用されていた既設の下水ポンプ圧送管を撤去したことに伴い、実施した製品の強度試験の結果でも設計性能を保持していたことが確認されている。この結果は下水道協会誌の技術報文として対外発表[*5]されている。

5 これまでに実施された試験種類は？

Ａ：多数ある。別資料を参照して戴きたい。

6 管布設時(通水前)に現場で実施する試験の種類と方法

Ａ：通常の場合管敷設時には接合状態のチェック確認（ゴムリング位置、継目間隔）以外の特別な「実験」等は実施しない。管路に不測の事態を招く可能性があるからである。

工程上の制約がある場合や人孔・点検施設距離が長い場合に、敷設と平行して実施する試験としては継目に限定した水密性能試験があるが、加圧によって管の端面部に作用する軸方向推力に対する管路移動防止等の措置が必須となる。

7 工事完了時に現場で実施する試験の種類と方法

Ａ：チェック事項も含めて実施する項目と内容は、概略以下のようである。

（１）継目間隔測定、内面からのゴムリング位置測定

接合時測定値との比較により、接合時と完工時の管路の挙動（移動）等が推定でき、管理基準範囲を超えた場合の供用開始前対処が可能となる。

（２）試験機による継目水密性能試験

通常は、敷設工事も完了し埋め戻し土が安定して、継目試験推力に抵抗できる状況になってから実施する。通常の場合、設計水圧ではなく作用静水圧を加圧値とするが継目試験機等能力から 0.4MPa 以下に止めることが望ましい。

（３）水張り試験

管路内を充水しながら管路沿いの地表面巡視、満水後の充水水量の減少量測定を行って異状の有無を調査する。許容減水量については、目安としての基準が定められているのでこれに従う。また、充水速度は空気排出や管路の安全性などを考慮し、300m/時　以下にする。

（４）水圧試験

ポンプ圧送管路等で、締切運転が可能な場合に実施可能であるが設計水圧（静水圧＋衝撃水圧）を作用させるので細心の注意が必要である。通常は実施しない。減少量測定は一定時間経過後の再加圧で、当初の圧力復帰に要した水量測定による方法*6もある。

（1）～（4）の方法について平成１０年３月版の農林水産省構造改善局「土地改良事業計画設計基準パイプライン」に詳しい。

8 現場及び工場で実施する試験の方法に関する基準

Ａ：工場で実施する試験は、質問１及び２を参照。

現場での試験については試験方法の基準はなく、方法の紹介と解説となる。

国内でＰＣ管の基準的なものとしては前項の、土地改良事業計画設計基準パイプラインに拠るのが一般的である。このなかでＰＣ管はコンクリート管類として 100～150(ｌ/日･cm･Km　１日当り、内径１cm 当り、延長 1Km 当りのリッター単位)を許容減水量としている。参考として、ポンプ加圧による水圧試験の例を示せば、参考資料*6のようである。

9 これまでの実績の中で，漏水，破損，他種管路との接合部の問題，異常変形など，現場対応（補修・交換など）が必要になった事項，および，その理由（原因）と対応方法

Ａ：接合部

（１）押輪継手を併用しない管路で、均等支持を維持し得ていないと想定される現場・施工条件により偏圧縮・過圧縮が長年月持続作用してゴムリングの水密性能が低下し漏水。

（２）天然ゴムを侵す微生物類の影響による、止水性能の低下による漏水。

（３）固定構造物（主として異形管巻立て部、貯水槽等）との接続部で、地震等の影響が集中作用して漏水。

継手部の漏水対策は、管内面からの目地止水処理又は可撓性のある内面継手によるのが一般的である。

Ｂ：管本体部

（１）自然水の流通する管本体内面が劣化、浸食を受けた事例はない。30～40 年の使用後でも、中性化深さは数 mm 程度である。

（２）埋設された自然環境がモルタルを浸食する性質の強いもの（酸性土壌や侵食性遊離炭酸等）であった場合、カバーコートモルタル厚が 20mm の規定である比較的初期の製品についてモルタルの浸食劣化、PC 鋼線の露出、錆の進行から破断、プレストレスの消失による管体破裂の例が見られる。

管本体への環境劣化の可能性が予想される場合は事前の環境調査が重要と考えられる。このような場合は定期的な管内調査に加えて、定点的な試掘調査等の継続的な維持管理が重要と考えられる。

事故時の対応方法としては、応急的な鋼管等による入替、劣化作用の大きい範囲の管内面からの更生工法、部分的な入替等がある。

10　　現在，当財団の技術開発調査で対象としている水力発電所は，500kW 程度以下の比較的小規模なものですが，水圧管路としては小流量高落差※1の場合や,

大流量少落差※2となる場合があります。また，水車形式により水撃圧（動水圧）が発生することがあります。さらに，設置方法としては，埋設の場合と露出の場合があり，設置場所としても山岳地域から農村地区,市街地まで，広範囲に渡ります。

このような条件の中，製品を作られる立場として，配慮すべき事項，使用の限界（水密性，強度，耐候性，供用温度など）がありましたらご指摘ください。

※1；管径が小さく(目安としてφ300 程度以上)，設計水圧は高い(目安として 100m程度以下)

※2；管径が太く(目安としてφ1500 程度以下)，設計水圧は低い(目安として数m程度)

Ａ：現在 JIS 規格としてはφ500～φ2000 の範囲で形状寸法、強度等が規定されているほか、ＰＣ管協会規格としてφ2100～2400 がある。これらの既設管は概ね 0.2～0.4MPa 程度の使用水圧で運用されている例が多い。

当社では現在φ600 以上の供給に限定しているが、既設管路の実態と農水省規準等を勘案すると、一般的に設計内圧は 0.6MPa、静水圧は 0.4MPa 程度以下とするのがよいと考えられる。

また、敷設は埋設管路とするのが一般的であるが、露出配管の場合は環境劣化を受けやすい反面、目視を含む定期的な点検管理が容易となるメリットもある。継手部に関しては、止水ゴムリングのオゾン劣化等対策として継手部外面のコーキング処理が必須となる。この他、曲部では静水圧及び動水圧によるスラスト力に対する対策が必要となるが、基礎をコンクリートベースとすることで解決出来ると考えられる。更に、露出配管に対する耐久性向上対策として、カバーコートの増厚や塗料塗布等の対策が考えられる。

しかし、露出配管に関する実績がほとんどないことから確実な品質保証は困難な情況である。以上のことから総合的に判断し、耐久性に優れる他の管種の採用も検討すべきと思われる。

11　　圧力管路へのＰＣ管採用のメリットとデメリット

Ａ：メリット

・材料がコンクリート系で、実績がある。

・PC 鋼線、プレストレスにより強度を保持しているが合理的な設計により、比較的低コストの製品となる。

・内外圧による変形の無い剛性管であるため、変形に起因する問題の発生が無い。

・継手の可撓伸縮性能と管長を選び、組合せることによって、地形に沿った配管設計と敷設が可能である。また、人孔や大きい角度の曲管等は鋼製異形管によって任意に製作可能である。

Ａ：デメリット

・製品重量が比較的大きい。

１．３　農業用水利施設への小水力発電導入に関する実例調査

簡易発電システムの対象施設である農業用水利施設への小水力発電施設の設置は，農業用のダムや調整池を利用するものなどの事例が見られたが，近年，小流量小落差に対応した水車発電機の開発に伴い，農業用水路の落差工や急流工に対応した事例も見られるようになった。

農業用水利施設への小水力発電設備の導入は，基本的に農業用水の運営に完全従属となる場合が多く，また，かんがい期と非かんがい期で流量が大きく違うことが多いため，この流量変動に対応することが課題となる。

また，砂防ダムの場合と同様に，落ち葉，ゴミ等の流入が大きな問題となっており，これらを効果的に防除して，発電効率を高めることが課題となる。

農業用水利施設への小水力発電計画においては，地元の土地改良区などが事業者になることが多く，施設を利用する多くの農業従事者の合意を得る必要がある。そのため，できる限りのコストストダウンが求められており，簡易発電システムとして調査･検討してきた要素技術の採用による効果が期待されるところである。

簡易発電システムの要素技術によるコストダウン対応方法としては，土木設備のうち，効果的な取水施設（取水形式）の選択，新設する水圧管路への一般市販管の採用，発電所基礎・建屋の簡略化が考えられる。また，電気設備では，効率的な水車，永久磁石発電機およびインバータの採用，汎用型 PLC の採用が考えられる。さらに，維持管理面では，事業者事務所内の技術者による主任技術者の兼務や電気保安協会への委託，また，地元の農業従事者への管理委託，簡易通報装置等の導入によるコストダウンが期待される。

以上の事項を念頭に置き，農業用水路に小水力発電設施設を設置した実例について調査を行い，その結果を考察した。

１．３．１　山一発電所

山一発電所は昭和初期に運転を開始した民間の発電所で,農業用水を水源としている。

山一発電所は平成16年度にヘッドタンク，水圧管路，発電所建屋,水車発電機，制御盤等の電気設備一式を全面的に更新した。更新に際しては,海外製の水車発電機及び除塵機を採用し,コストダウンを実現させた。



写真III-1.8 ヘッドタンク，水圧管路，発電所の全景



写真III-1.9 水車発電機全景



写真III-1.10 農業用水路と除塵機

山一発電所は，有効落差 16.2m，最大使用水量 1.0m3/s，出力 132kW であり，フランシス水車と誘導発電機により年間を通して安定した発電を行っている。

取水源となる農業用水路には多くのゴミが流下し，発電の障害になっていた。今回の改正では海外製の“掻きあげ型”の除塵機を採用し,スクリーンに補足されたゴミを水面近くまで掻きあげ，水面上には出さずにそのまま余水吐から下流へ放流させてしまう形式としている。海外製品によるコストダウンとともに，ゴミの処理に掛かる労力（コスト）も低減させている。

事前に送付した調査票をもとにヒヤリングを行い,そこで確認された事項を以下に示す。

1) 本発電所は、昭和 37 年に運開。もともとは撚糸工場の電源及び動力源として運転していた。現在の機器（昨年更新）で 4 代目。3 代目は電業社製で，中部電力で使用していた機器を中古で購入した。メンテナンスは自社の技術者が対応していた。現在も基本的には自社内で対応し，部分的にメーカーに対応してもらっている，
2) 最大出力は 132kW。本日(H17.10.14)の出力は 120kW 程度。水量は比較的豊富。
3) 水車発電機はチェコのマーベル社製。設置時にはマーベル社の技術者が派遣され，現場で設置作業を行った。
4) 設置後，少し経過してから発電機の前方フロントの温度が上昇傾向にあったため，送風装置を設置して温度を低下させた。
5) 発電した電気は，自社工場（撚糸工場），自宅，隣接するスポーツクラブ(屋内プール)で使用。余剰電力は電力会社に売電。現時点では収支ぎりぎり。
6) 水利権交渉は継続中。0 年前の建設当時から，農業用の水利権の一部として，地元から認められていた。
7) 水車発電機の更新に伴い,取水施設及び水圧管路を更新。水路のゴミが最大の懸案事項であったため，チェコのマーベル社製の除塵機を設置した。
8) 除塵機に付随するスクリーンは，海外仕様で間隔が大きかったが，実情に合わせてさらに細かい間隔のものに更新した。設置後の対応で,地元の鉄工場に委託し，低価格で作成した。
9) 除塵機は，タイマーによる間欠作動と，取水口と水槽の水位差(20cm／設定値変更可)による自動作動による。
10) アーム式の可動部によりスクリーンに張り付いたゴミを掻きあげるが,水面上に上がる手前でスクリーン後方上部の水路に導き，余水とともにもともとの水路に，ゴミを放流する構造としている。この構造により，ゴミは水面上に引き上げず，ゴミ処理の対応を省略している。
11) 要望として，小水力に対する電力会社の購入価格をもう少し上げてもらいたい。

本発電所は，昔から農業用水路に付随してきた発電所であり，水利権などについても農業用水との共存してきた好事例である。海外機器の導入や維持管理面でのコストダウンを図っているが, 簡易発電システムの要素技術である一般市販管の採用により, 更なるコストダウンを実現する可能性がある。

調査結果を整理し，昨年度実施したモニタリング表とした。さらに現地の写真と合わせ,「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。



写真III-2.8 いわなの郷（店舗）



写真III-2.9 いわな養殖池（水源はこの上流）



写真III-2.10 孵化・育成槽と
ｽﾄﾘｰﾑｴﾝｼﾞﾝ・配管



写真III-2.11 ｽﾄﾘｰﾑｴﾝｼﾞﾝ設置状況



写真III-2.12 蓄電池・電熱抵抗水槽



写真III-2.13 インバータ（1700W）

２．３　永久磁石発電機およびインバータ等採用地点に対する調査・検討

永久磁石発電機とインバータの採用は，簡易発電システムの要素技術の一つであり,コストダウンにつながるものと考えている。

このシステムを採用している発電施設を調査し，稼動状況等を確認した。

また，自動車用の発電機の採用によってコストダウンを図った事例などを紹介する。

２．３．１　都留市市民発電所

都留市市民発電所は，市内を流れる家中川の都留市市役所と隣接する小学校との間に存在していた落差工に注目して開発された発電所である。

この河川は農業用水路の役割も持っており,最大2.0m3/sの流量が約2mの落差工で減勢されていた。都留市は，経済産業省からの補助金と市民からのミニ公募債を財源にしている。

この発電所では，簡易発電システムの要素技術の一つである永久磁石発電機とインバータの組合せを採用しており,また，除塵機と水路本体の制水ゲートを連動させて,取水口スクリーンに張り付いたゴミを,水路方向に流すシステムを取り入れ,ゴミの処理に掛かる費用と労力を低減させている。

また，この発電所で注目されるのは,海外製の開放型上掛け水車を採用したことで,隣接する小学校の生徒へのエネルギー教育の教材になるとともに,観光の拠点にもなっている。

この水車は低落差であっても60%程度の効率を確保できるため，海外では既に実用化されており，今回,わが国ではじめての採用となった。



写真III-2.14 都留市市民発電所の全景

現地調査に当たっては，事前に送付した調査票をもとに都留市市役所の担当者に対してヒヤリングを行った。そこで確認された事項を以下に示す。

1) 本発電所は、水力エネルギーの活用のみでなく,隣接する小学校の生徒への教育,市民への啓蒙，近隣市町村・他県からの見学者誘致を目的にしている。
2) 電気主任技術者は保安協会に委託。ダム水路は建設課職員に任命。
3) 開放型水車を採用したのは，上記の狙いもあった。サイフォン型の水車の採用も提案された（建設費は 20%程度低くなる）が，アピール度を考慮して，開放型水車にした。
4) 建設費の内，水車・発電機その他の電気関係設備に 2/3 程度を要した。資金は，全体の 30%をＮＥＤＯの補助（除塵機関係は新技術採用で 50%補助)，残りをミニ公募債として，市民からの出資を財源とした。
5) 水車の大きさは直径 6m，幅 2m で，ギヤボックスとともにドイツ製。水車重量は 8.1ｔ、ギヤボックスの重量は 3.7ｔ。ギヤボックスで約 100 倍，ベルトで 2.8 倍程度増速して，水車の回転速度 4.3min^{-1}を 1200min^{-1}まであげている。
6) 発電機は国内製の永久磁石発電機で,流量変動による周波数の乱れをインバータにより制御し,市役所の分電盤に低圧で接続している。夜間は余剰が出るので電力会社に売電している。
7) 水車と水路の間隔は，もともとのドイツの設計に準じて 2cm としている。この隙間の大きさが水車効率に影響するが，水車の直径が大きいため，少しでもずれると水車の羽根と水路側面が接触してしまう。水車軸の設置と基礎の安定が重要になる。
8) 水車は，もともとの河川落差工直前にバイパス水路を設けて設置。バイパス水路の取水口に新技術として採用された除塵機を設置。河川に設置された制水ゲートと連動し，取水口スクリーン自体が引き上げられ，そのときに河川とバイパス水路の敷高の差（バイパス水路の方が高い）から，水路内の水が逆流する。その際，スクリーンの引き上げと同時に掻き下げられた塵芥が河川のほうに逆洗される。現在，河川制水ゲートとスクリーン引上げの制御のタイミングを確認中。
9) この除塵機の設計は，地元のコンサルタントによる。ＮＥＤＯ新技術に採用されたため，特許の出願はできない。
10) 家中川は，市役所の上流に放水口が設けられており，洪水時には自動的に放水口ゲートが開放されるため，市役所付近の流量は 2.0m^3/s 程度以上には増加しない。
11) 家中川には，過去，水力発電所が存在した（現在は廃止)。その影響から，家中川における水力発電への注目度は高く,数年前から信州大学池田教授らによる実験フィールドとされ，いくつかの実験が実施されている。現時点でも市役所前(100W 程度)及び１ｋｍ程度上流(50W 程度)で，実験が継続されている。

調査結果を整理し，昨年度実施したモニタリング表とした。さらに現地の写真と合わせ,「Ⅳ 簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子巻末資料-4 モニタリング調査」に添付する。

２．３．２　Ｄ社における対応例

Ｄ社Ａ製作所は工場が高台にあることから浄化した工場排水を放流する排水口との高低差が１６ｍあり，この落差を利用して水車を廻し，その力で自社の自動車用発電機（オルタネータ）を駆動させて発電する。発電した電力は，昼間は工場内のるサイクルセンターの照明に，夜は社員用通勤路や駐車場の照明などに利用している。また，工場見学に訪れる子供たちの環境教育にも役立てている。なお，Ｂ製作所でも同様のオルタネータを活用した小水力発電設備を運転している。

以下に設備概要を示す。

（１）Ａ製作所

１）水　車

(1)　形　　式　　　　　；横軸フランシス水車

(2)　基準有効落差　　　；16m

(3)　流　　量　　　　　；0.0423　m^3/s

(4)　基準出力　　　　　；5.3kW

(5)　その他

イ．水車は最大無拘束速度に耐える。

ウ．水車は流量が低下した場合に落差を確保するため、手動操作のガイドベーンを装備する。

２）発電機

(1)　形　　式　　　　　；横軸直流発電機（オルタネータ）

(2)　定格出力　　　　　；150A

（基準有効落差、基準流量において。ただし、発電機効率によって変る。）

(3)　定格電圧　　　　　；24V

(4)　水車との接続方式　；ベルト接続とし、プーリーにより水車回転速度を増速。

写真Ⅲ-2.15 に水車発電機、写真Ⅲ-2.16 に制御盤を示す。



写真Ⅲ-2.15 水車発電機



写真Ⅲ-2.16 制御盤

（２）Ｂ製作所



写真Ⅲ-2.17 水車発電機

- □ 運開　；H16.9
- □ 水源　；工場廃水
- □ 系統連携　；自立運転(100V)
- □ 水車形式　；横軸プロペラ
- □ 最大出力　；8kW
- □ 適用　；工場内照明用電源

；未利用エネルギーの有効活用

（省エネルギー技術開発の一環）

；水車はＥ社マイクロ水車

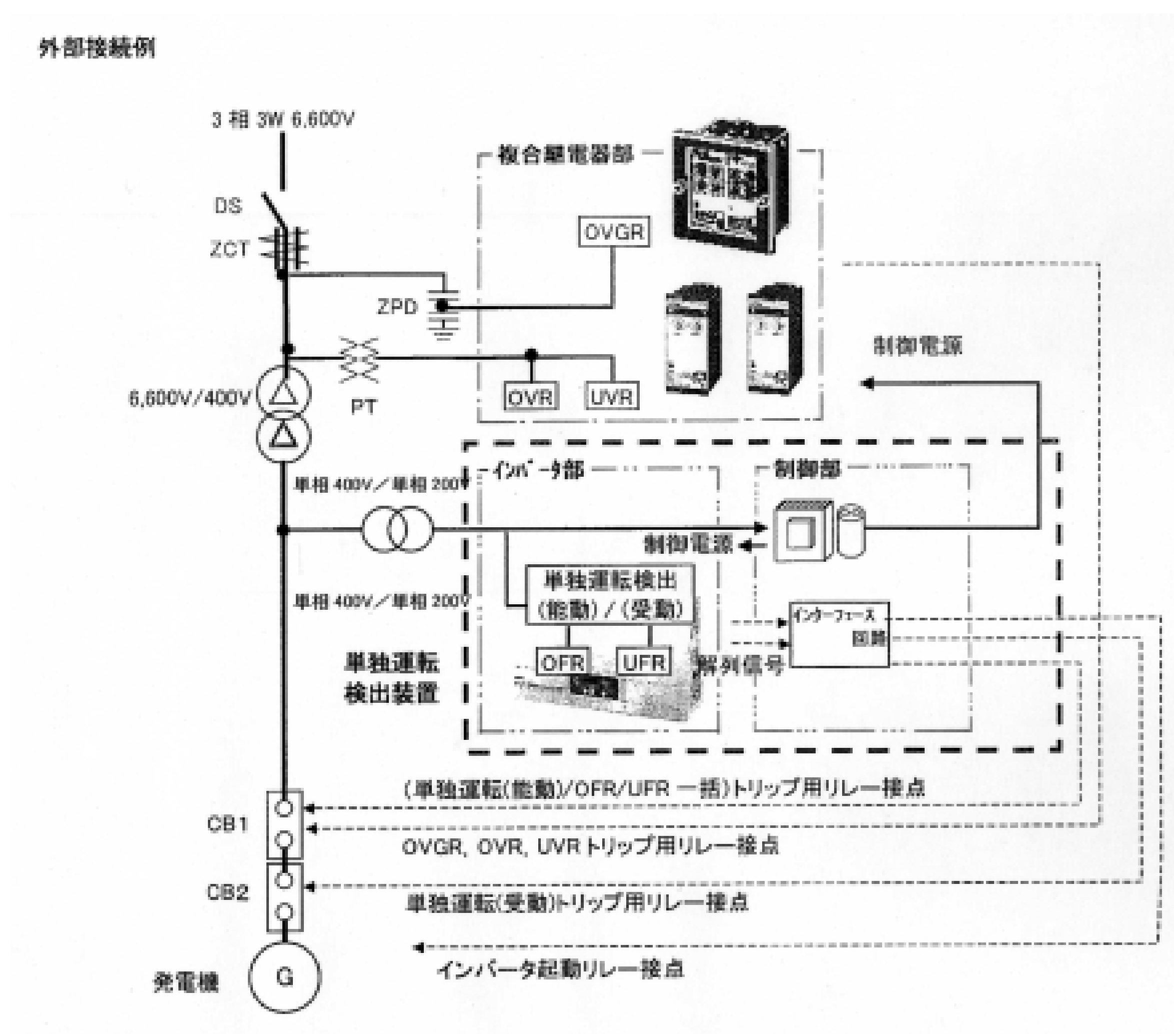
；発電機はＤ社自動車用発電機（オルタネータ)、2 連構成

２．４　単独運転検出装置に関する新しい実績について

単独運転検出装置にはいろいろな方式があるが，C社が開発した装置は無効電力補償方式である。

無効電力補償方式は，発電出力に常時周期的な無効電力変動を与え，単独運転以降後に現れる電圧の周波数動揺等により単独運転を検出するものである。無効電力発生装置として太陽電池用パワーコンディショナを使用し，低コストの単独運転装置を製品化した。価格は 150 万円程度とされており，国内数箇所への納入実績がある。

図Ⅲ-2.2 に単独運転検出装置の概略構成および外部接続例を示す。



図Ⅲ-2.2　単独運転検出装置の概要及び外部接続例

２．５　発電機の選定に関する分析・考察

小水力における発電機の選定は、H15 年度に下記理由より、「ＰＭＧ＋ＩＮＶ」方式の適用を推奨している。

① 励磁装置、調速装置が不要で保守性に優れる。
② 電動機、汎用インバータの採用により汎用性に優れ、コストメリットがある。
③ 出力５０ｋW未満では低圧連系による逆潮流有りが可能である。
④ 自立運転が可能である。
⑤ 電機メーカーより、系統連系を考慮した保護装置内臓ＩＮＶ盤、ＰＭＧが出力５００ｋWまでラインナップされており、風力発電で実績がある。
⑥ 無拘束速度に対してはインバータは主回路から切り離すことで保護し、ＰＭＧは容量増で対応する。

これに対して、海外（特にヨーロッパ）では，単独運転の場合は同期発電機、系統連系は誘導発電機といったインバータを使用しないシステム構成とすることが多い。

以下，インバータを使用する小水力発電設備について考察する。

（1）単独運転の場合

単独運転の場合は、基本的に同期発電機を使用するのが一般的で，単独運転が多い開発途上国の未電化地域における集落の電化などに数多く採用されている。このシステムは，インバータを使用しないで回転機の出力をそのまま負荷に供給する方式である。

一方，日本の場合、回転機とインバータを組み合わせたシステムが採用されているケースが多々ある。例として，

①自動車用オルタネータ＋インバータ→バッテリー
　－Ａ社Ａ製作所 3kW
　－Ｂ学校 4.8kW
　－Ｃ　ＮＰＯ試験設備（開放型下掛け水車）
②永久磁石式三相同期式電動機(※１)＋インバータ
　－Ｄ土地改良区 5kW
③永久磁石式発電機(※2)＋インバータ→バッテリー
　－Ｅ町Ｅ水力（海外ＦＥ製）700W
③直流発電機＋インバータ→バッテリー
　－Ｆ小屋（海外Ｆ社製）300W

（注）　※1：インバータモータ用のシステムで，回転子位置を検出し速度/トルク制御が可能なシステム
　　　　※2：発電機は単なるＰＭＧで，自転車の前照灯の発電機と同じ構造のもの。

この理由としては，小容量であるため、高い発電効率で出力を稼ぐことより，設備費を抑えるため，パッケージ化された安価な小型水力発電装置の使用や汎用発電機とインバータの組み合せを採用したことである。このシステムが経済的に成立するには，自動車用のオルタネータのような汎用品を使用することである。

また，このシステムの特徴として，調速機能を持たない場合が多く，水車出力と負荷のバランスは，水車の回転速度に対する効率特性を利用して成立させている。このため，無負荷の場合（例，バッテリーが満杯で充電できない場合）などは，水車は無拘束速度となるため，水車は無拘束速度に連続して耐える設計とする必要がある。また、ダミーロードガバナなどの制御装置が不要であるため，経済的にも有利であるが，INV を含めた総合効率は低く，性能面では若干劣る傾向にある。

（2）系統連系運転の場合

系統連系運転の場合，一般的に系統容量に対し発電機の容量が大きい場合は同期発電機，小さい場合は誘導発電機を適用し，そのまま系統に連系する方式が国内外を問わず一般的である。

しかし，自家用発電設備の設置者などが，一般電気事業者(電力会社)の配電線に連系する場合は，電気設備技術基準（以下，電技という）の制限や系統連系技術要件ガイドライン(以下，ガイドライン)があり，特に電技の解釈では，逆変換装置が無い場合，逆潮流有りの条件で，発電設備を電力系統に連系することは不可」としていることや，逆潮流がある場合は単独運転検出装置を設けることが求められている。

この対応として，単独運転検出装置が組み込まれている汎用のインバータ（太陽光や風力発電設備用）を利用してシステムを構築している例がある。

①自動車用オルタネータ＋インバータ（特別高圧連系，逆潮流なし）
　－G社G製作所(3.6kWx2 台)
②永久磁石式三相同期式電動機(※１)＋インバータ(高圧連系，逆潮流あり)
　－H市H水力発電所(20kW)
③三相同期発電機＋インバータ（低圧連系，逆潮流あり）
　－G市G発電所(22kW)

(注)高圧連系か，低圧連系かなどは，発電機電圧によるものではなく，発電機が接続される構内の電源設備と電力会社の連系点の電圧となる。

これらの例では，それぞれ使用している発電機は異なるが，選定にあたっては各システムの特徴を考慮して一番経済性が良いシステムを採用している。この点

を補足すると,

①の場合、汎用の発電機の中では自動車用オルタネータが安いのでこのクラスの出力（3kW 程度）では，一番使いやすい発電機だということである。なお，このシステムは、出力は 7.2kW であるため，水車１台でオルタネータ２台をベルトで駆動し，インバータ２台を用いて並列運転している。

②の場合，ガイドラインを満足させるためインバータモータのシステムを採用し，単独運転検出機能を持つ系統連系用インバータを利用して連系しようとしたものである。また，インバータモータのシステムを使用することにより水車の可変速運転機能を付加が可能となり，流量変化に対する高効率運転を実現することが出来る。

③の場合，水車発電機のシステムはググラー社の単独運転仕様で，発電機としては標準装備の同期発電機を使用している。このシステムの低圧連系・逆潮流ありには，電技の解釈に従って逆変換装置（インバータ）を設ける必要があったため，特殊仕様の太陽光用インバータを複数台並列運転している。

（３）インバータを採用する理由

インバータを使用するシステムとする主な理由は経済性であるが，低圧連系の場合は，電技やガイドラインの要求を満たすためとなる。

（４）経済性について

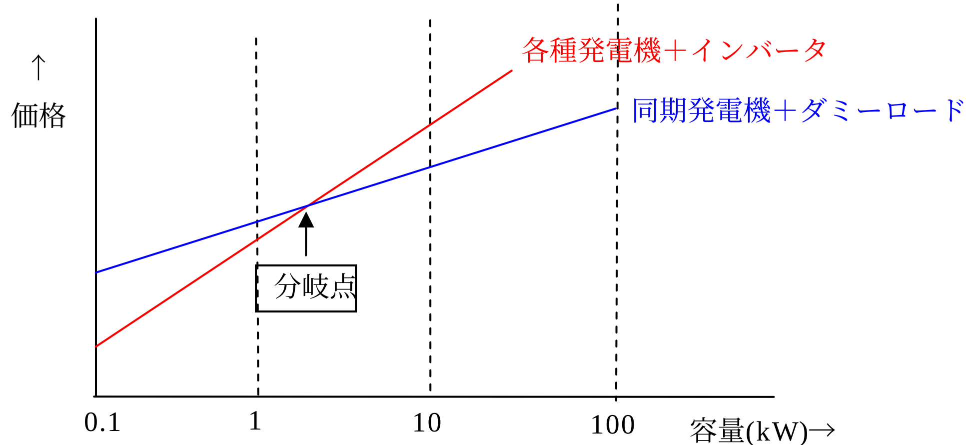
ａ．単独運転の場合

単独運転の場合の経済性は，①「各種発電機＋インバータ」と，②「同期発電機(AVR 含)＋ダミーロードガバナ」のコスト比較によるものとなる。国内調達の場合，同期発電機やダミーロードガバナは全て受注生産方式であるためコストは高く，容量が小さい場合は経済的に不利である。

一方，オルタネータやＰＭＧなどは小さな容量の汎用製品が存在するため，汎用のインバータとの組み合せにより低コスト化が実現できる。

しかし，容量が大きくなり，どちらも受注生産の領域に達したあたりで，この関係は逆転し，やがて「同期発電機＋ダミーロードガバナ」方式が経済的に有利となる。この関係は、機器の価格のみならず，水車の回転速度制御ができるかどうか。すなわち水車効率の高い点で運転できるかどうかにも関係している。

この容量に対する経済性の概念を図Ⅲ-2.2 に示す。



図III-2.2　容量対価格の概念図

なお，経済性の分岐点は，水車の種類やシステム構成などによって異なるが，国内調達の場合，概略数 kW 程度であると推測される。

また，海外調達も含めると，ヨーロッパなどではＡＶＲ組込み式の同期発電機や，ダミーロードガバナなどを 1kW 程度から標準化しているため，「同期発電機＋ダミーロード」のシステムが経済的に優位になる。

ｂ．系統連系の場合

経済性は，①「誘導発電機」と，②「各種発電機＋インバータ」のコスト比較となる。国内調達の場合，誘導発電機は標準として製造されていないため特別注文となるが，数 kW 程度の小容量の場合，メーカーが製造に応じてくれない場合があり，入手は極めて困難である。(製造実績も無いと推定) このため，数 kW 程度の場合は，「各種発電機＋インバータ」の採用している例が多い。

しかし，容量が大きくなると(数 10kW 以上)メーカーも対応してくれるが，この場合は，「誘導発電機」が経済的に優位になる。この容量に対する価格の概念は，単独運転の場合とほぼ同様である。

一方，海外調達を含めると，ヨーロッパメーカーは，2～3kW 程度の誘導発電機からラインアップしているため，この容量ぐらいから誘導発電機が経済的に優位となる。ただし、低圧連系・逆潮流ありのシステムでは，電技やガイドラインにより，現在では「各種発電機＋インバータ」方式が優位である。

（5）インバータ使用のシステムの将来性

現在の我が国の小型水力発電は，環境問題の目新しい取り組みや実証研究目的として，数 kW 程度の小容量のものが着目されており，経済性の面から「各種発電機＋インバータ」を使用するシステムなどが取り入れられている。

しかし，この傾向は，初期段階の過渡的傾向とも考えられ，今後より容量の大きなものに移行する可能性も推測される。

この場合，単独運転の場合は同期発電機、系統連系は誘導発電機といったインバータを使用しないシステムへの移行となる可能性がある。

「ＰＭＧ＋ＩＮＶ」は，経済面から数十 kW までのシステムとしての採用が効果的になると考えられるが，風力や太陽光発電に使用するＰＭＧ及びＩＮＶの標準化，普及が重要な要素となる。

なお，電技やガイドラインの要件で求めている低圧連系・逆潮流ありの単独運転検出装置としても，低価格の製品がリリースされる状況を踏まえ，今後の柔軟な対応が期待される。

Ⅳ　簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子の策定

Ⅳ　簡易発電システム設計マニュアル(案)の骨子　目次

第１章　概　要

第２章　土木設備

第３章　電気機器

第４章　運　転・保　守

第５章　関係法令・基準等

設計マニュアル(案)の骨子　巻末資料

[参考]　簡易発電システム設計マニュアル(案)の最終目次(案)

第１章　概　　要

第１章　概　要

１．１　目　的

本設計マニュアルは，発電用ダム(河川維持流量)，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道水利施設の水など，落差・流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，低コストで簡易な発電システム（以下，簡易発電システム）に関する手法を示し，小水力発電の開発促進に資することを目的とする。

【解説】

水力発電は，長期間にわたり発電可能であるばかりでなく，再生可能・純国産・クリーンな電源でもあり,我が国のエネルギー供給における重要な役割を果たしてきた。

わが国の 110 年以上にわたる水力発電の歴史の中で，果たす役割も時代背景に応じて変化し，オイルショック以前は急速に増大する電力需要をみたすために大規模発電を中心に，オイルショック以降は石油に替わる貴重なエネルギーの一環として，開発されてきた。現在，大規模開発に適した地点の建設が少なくなるなかで，これからは中小規模の発電所の開発が中心になりつつある。

我が国は，豊富な水資源に恵まれ，これら中小規模の開発に適した地域はまだまだ残されており，その開発は貴重な国産エネルギーの確保という面及び地球環境問題の解決等の様々な観点から，大きな力を発揮するものと考えられている。さらに，大いなる自然の恵みである"水力"の利用は発電のみに留まらず，水力発電を核に地場産業の創出・活性化に努めている市町村もあり，地域の自立的な発展に役立つ大きな可能性を秘めている。

このような背景のもと,これまで発電に利用されてこなかった発電用ダム(河川維持流量)，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道水利施設の水など,落差･流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，コストダウンにつながる要素技術や運転・保守面での手法を確立し，低コストで簡易な発電システム（以下，簡易発電システム）に関する手法を示すことによって，小水力発電の開発を促進することを目的とする。

１．２　適用範囲

> 本設計マニュアルは，原則として，開発規模 500kW 程度以下の水力発電所に適用する。

【解説】

簡易発電システムは，発電用ダム(河川維持流量)，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道水利施設の水など，落差・流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，コストダウンにつながる要素技術や運転・保守面での手法を確立し，低コストで簡易なシステムを構築するものである。ここで,上記 5 つの施設に対し，それぞれの標準的落差と流量を設定し，既往データからおおよその施設数を仮定した。それらの結果から，各施設のエネルギーの賦存状況を推定した。その結果を,表Ⅳ-1.1 と図Ⅳ-1.1 に示す。

これらの結果から見ると,各施設の賦存状況は概ね 500kW 以下になっている。このことから,本設計マニュアルの適用範囲を原則として 500kW 程度以下とした。

なお，後述する要素技術の採用によるコストダウンは，施設の開発規模とは無関係に対応可能である。従って,本マニュアルで検討する要素技術については，その経済性と安全性を確認したうえ,500kW 以上の発電所にも適用可能とする。

【参考】調査対象施設の落差流量

簡易発電システムに利用する用途別の落差・流量の範囲を検討する。

各適用施設における落差・流量の賦存状況をもとに，簡易発電システムの地点数，流量・落差の対象範囲を明確にするため，施設数，諸元，流況，発電利用可能落差等を抽出・整理した。

各施設における落差・流量の範囲を，統計処理によって設定した。統計処理は，適用施設ごとに落差・流量の頻度分布を作成し，標準偏差 1/2 の範囲とする方法をとった。

以下に対象施設ごとの検討概要を示す。

(1) 農業用水利施設

農業用水利施設における農業用ダム・取水堰および水路落差工の落差・流量の範囲は，以下の通りである。

① 農業用ダム

農業用ダム（ダム高 15m以上）は，ダム年鑑（1999 年）より，河川維持流量または責任放流量を放流している 13 箇所のダムを抽出した。落差については記載がないためダム高とし，流量は河川維持流量または責任放流量とした。落差・流量の範囲は，落差が 15～60m，流量が 0.03～0.5m^3/s とした。

② 取水堰

取水堰は，農業水利施設関連資料の「農業土木工事図譜第４集頭首工編（平成２年９月，社団法人農業土木学会)」および「流量年表　平成９年（日本河川協会)」を用い，311 箇所を抽出した。落差は可動堰（ゲート）高さとし，流量は流域面積と比流量 0.3m3/s/100㎢から求めた河川維持流量とした。なお，高さ 15m未満のダムは，取水堰に含めるものとした。落差・流量の範囲は，落差が 0.5～５m，流量が 0.1～8㎥/s とした。

③ 水路落差工

水路落差工は，「農業土木工事図譜第３集水路工編（昭和 59 年９月，社団法人農業土木学会)」および「小水力発電可能性調査報告書（昭和 59 年３月，(財）日本農業土木総合研究所)」を用いた。水路落差工の数は，「図譜第３集水路工」によると，水路総延長約 13,200㎞ に約 10,000 箇所ある。

また，「小水力発電可能性調査報告書」によると，年間発電電力量が概ね 15 万 kWh 以上，かつ発電出力 30kW 以上の発電可能日数が年間 120 日以上の包蔵力をもつ水路落差工は 212 箇所ある。落差は，１～３ｍの範囲が対象となっているが，分布状況の記載がないため，この落差範囲を平均して２ｍと設定した。流量は，30 箇所の一級河川の取水量を抽出し，水路落差工の流量とした。流量の範囲は５～30㎥/s とした。

(2) 砂防ダム

砂防ダムは，「砂防便覧　平成９年度版（建設省河川局砂防部監修，社団法人全国治水砂防協会発行)」および「測水所一覧表，昭和 62 年３月（資源エネルギー庁公益事業部発電課)」により，地点数は 51,144 箇所である。サンプル数は主要河川毎に１ダムと考え 262 箇所とした。

落差は，砂防便覧に記載されているダム高とするが，砂防便覧のダム高は，５～30mの範囲で５ｍ間隔に記載されているため，５ｍごとの中間値をダム高とした。

流量は，近傍測水所における流量資料により，砂防ダムの平均的流域面積（20㎢）比から推定した渇水量とした。

落差・流量の範囲は，落差が 5～30m，流量が 0.1～0.8㎥/s とした。

(3) 発電用ダム（河川維持流量）

発電用ダムは，ダム年鑑により，ダム高 15m以上において 101 箇所，ダム高 15m未満において 233 箇所を抽出した。

落差は，貯水位および放水位がわからないので，ここではダム高とした。流量は，流域面積と比流量（0.3m3/s/100㎢）から求めた。

落差・流量の範囲は，ダム高 15m以上において落差が 15～100m，流量が 0.1～

3㎥/s，ダム高 15m未満において落差が１～15m，流量が 0.1～2㎥/s とした。

(4) 上水道・工業用水利施設

上水道・工業用水利施設のうち，取水堰の関連資料は，「堰の設計（山内彪，財団法人ダム技術センター編集，山海堂)」･「ダム年鑑 1994（財団法人日本ダム協会)」および「水利使用許可の現況（(社）日本河川協会)」を用いた。

取水堰のサンプル数は 12 箇所である。落差・流量の考え方は，農業用取水堰と同様に落差は可動堰（ゲート）の高さ，流量は流域面積と比流量（0.3m3/s/100㎢）から求めた。落差・流量の範囲は，落差が２～７m，流量が１～５㎥/s とした。

水路落差工のサンプル数は，141 箇所である。流量は，一級河川の水利使用許可件数約 2,000 件の流量から 0.1～0.8㎥/s とした。落差の分布状況の記載がないため，農業用水利施設の水路落差工と同じく１～３mとし，落差範囲を平均して２mと設定した。

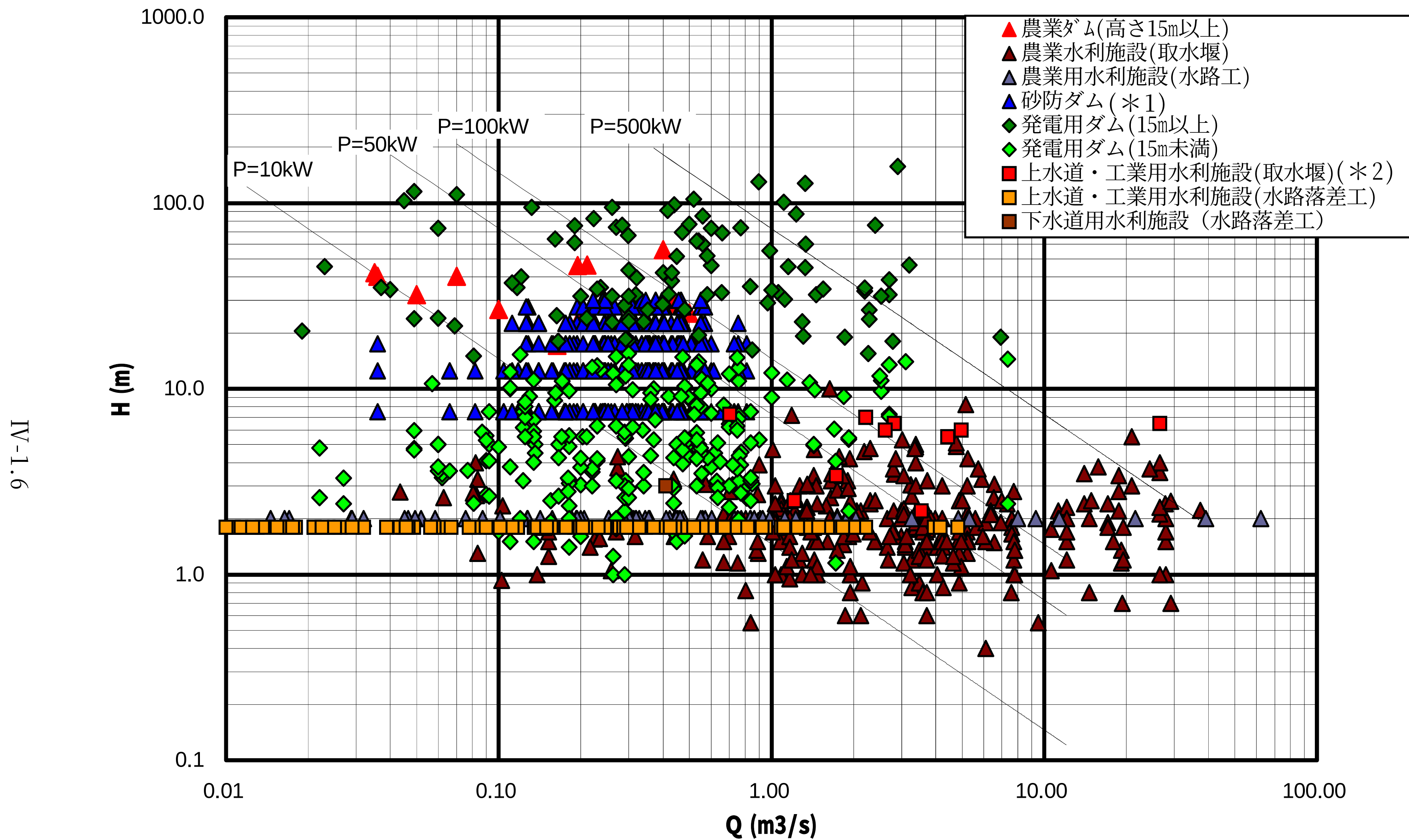
(5) 下水道水利施設

下水道水利施設は，「下水道処理場データソフト（公共投資ジャーナル)」を用いた。下水処理場の処理水の放流を対象としたもので，地点数は 332 箇所（東日本）である。落差の記載がないため，任意に 16 箇所を抽出して落差を１～10mとした。流量は，0.1～1.0㎥/s とした。

表Ⅳ-1.1　調査対象施設別 落差・流量の賦存範囲

適用施設	種類	地点数	賦存範囲と抽出平均				開発可能量 (MWh/年)
			ｻﾝﾌﾟﾙ数	落差(m) 〔上段：検討対象値 下段：賦存範囲〕	流量(m^3/s) 〔上段：検討対象値 下段：賦存範囲〕	出力 (kW)	
農業用水利施設	ダム（高さ 15m 以上）	13	13	40 (15 ～ 60)	0.2 (0.03 ～ 0.5)	55	6,300
	取水堰（高さ 15m 未満のダムを含む）	311	311	2 (0.5 ～ 5)	5 (0.1 ～ 8)	69	188,000
	水路落差工	約 10,000	212	2 (1～3)	10 (5 ～ 30)	137	-
砂防ダム	砂防ダム	51,144	262	10 (5 ～ 30)	0.4 (0.1 ～ 0.8)	27	-
発電用ダム （河川維持流量）	高さ 15m 以上のダム	101	101	50 (15 ～ 100)	1 (0.1 ～ 3)	343	303,000
	高さ 15m 未満のダム （取水堰を含む）	233	233	6 (1 ～ 15)	0.5 (0.1 ～ 2)	21	43,000
上・工業用 水利施設	取水堰	21	21	6 (2 ～ 7)	4 (1 ～ 5)	164	30,100
	水路落差工	1,874	141	2 (1 ～ 3)	0.2 (0.1～0.8)	3	49,300
下水道水利施設	水路落差工	332 *	16(落差) 332(流量)	7 (1 ～ 10)	0.2 (1.0 ～ 1.0)	10	27,600

注：出力は，総合効率を 0.7 として算出した。
　　開発可能量は，出力に地点数を乗じた単純計算である。
　　「－」は，地点数が概算数であるため，算定から外した。
　　* は，東日本のみ



図Ⅳ-1.1 落差・流量賦存状況

注：図の出力は次式による。
$P=9.8\eta QH$ （$\eta=0.7$）
サンプル地点をプロットした。
*1：5m 間隔に設定した落差ごとにプロットした。

１．３　対象施設

本設計マニュアルで対象とする施設は,原則として，以下の 5 施設とする。

①　農業用ダム・取水堰および水路落差工で構成される農業用水利施設

②　山間部における砂防ダム

③　河川維持流量を放流している発電用ダム

④　上水道・工業用水利施設

⑤　下水道水利施設

【解説】

簡易発電システムは，これまで発電に利用されてこなかった落差・流量の小さい領域を対象として,コストダウンにつながる要素技術や運転･保守面での手法を確立し,低コストで簡易なシステムを構築するものである。

このことを念頭におき，落差・流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域の施設として上記の 5 つの施設が選定された。

なお，後述する要素技術の採用によるコストダウンは，施設の種類とは無関係に対応可能である。従って,本マニュアルで検討する要素技術については，その経済性と安全性を確認したうえ,上記以外の施設にも適用可能とする。

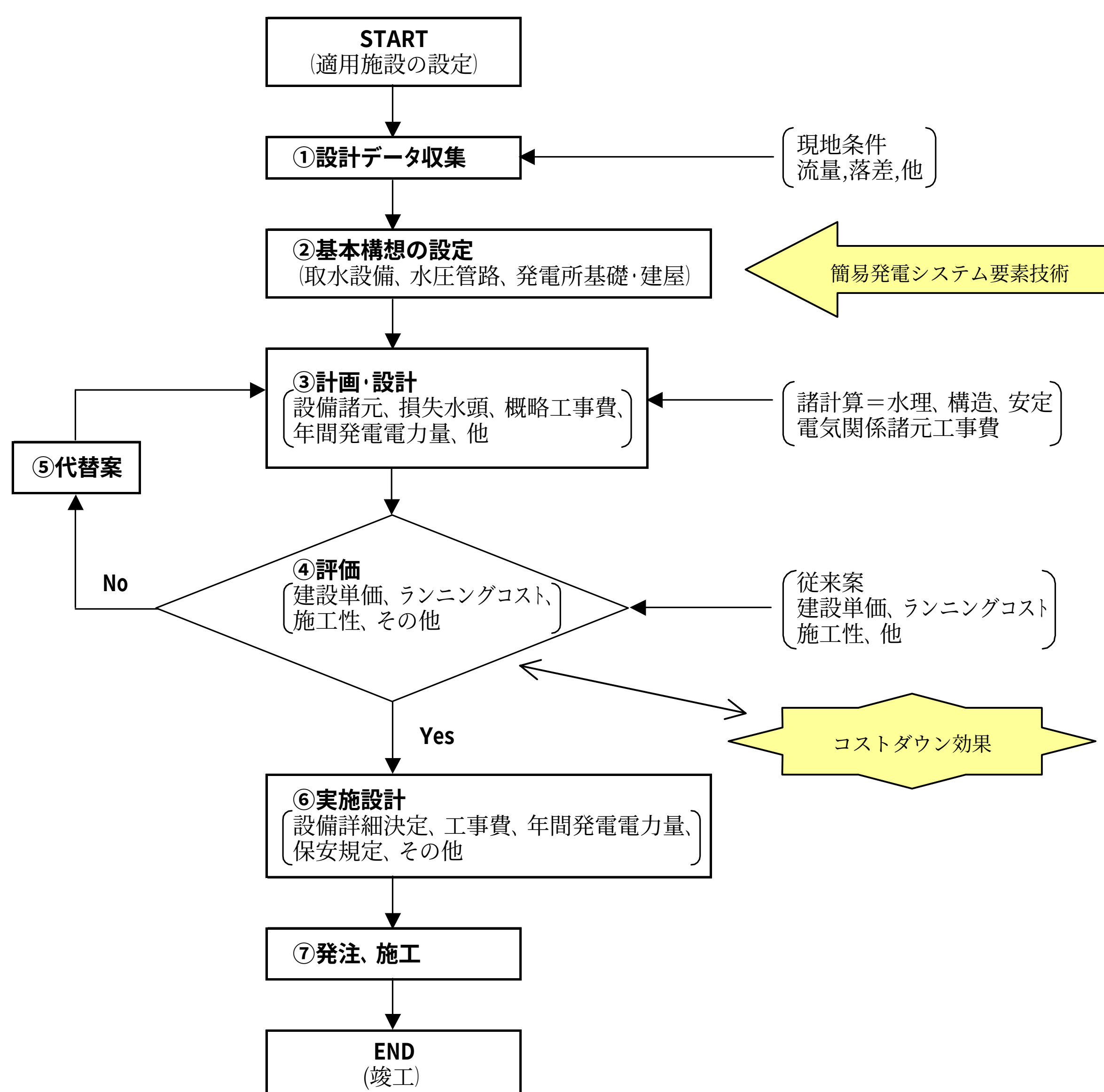
1．4　基本構想

1．4．1　基本的な設計の流れ

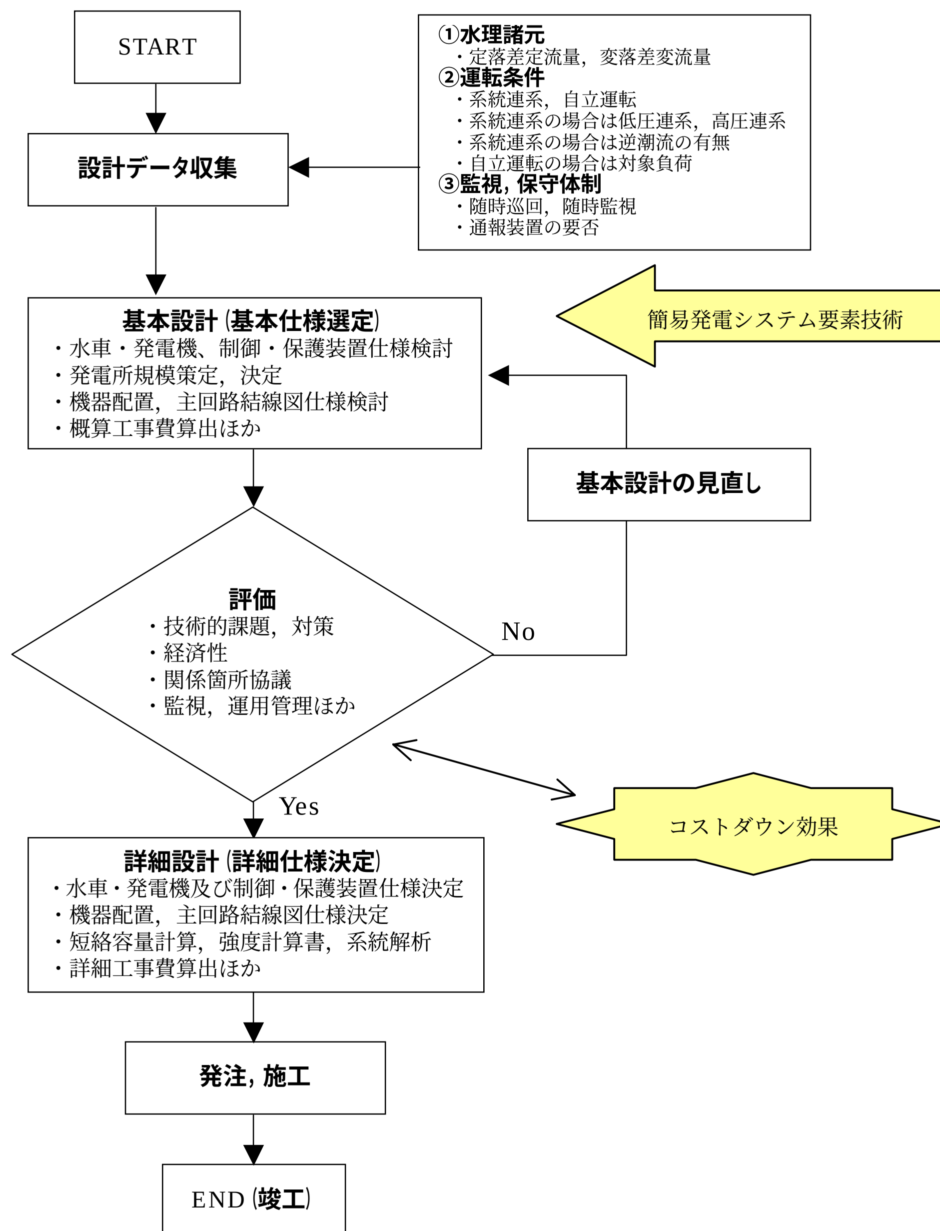
本設計マニュアルによる設計の流れは,一般的な発電計画と同様であるが，各施設の検討にいて 簡易発電システムの要素技術を適用し,コストダウンを図るものとする。

【解説】

基本的な設計の流れを，図IV-1.2,1.3 に示す。



図IV-1.2 簡易発電システム　土木設計フロー



図IV-1.3 簡易発電システム　電気設計フロー

１．４．２　要素技術

本設計マニュアルでは，水力発電所の計画・設計・更新等に当たり，簡易発電システムの要素技術を適用し,コストダウンを図るものとする。
ここで対象とする要素技術とは,以下の設備に対応した技術を示す。
１．土木設備　；　取水設備，水圧管路，発電所基礎・建屋
２．電気設備　；　水車，発電機，制御・保護装置

【解説】

本マニュアルで対象とする要素技術は上記のとおりであり，それぞれ 3 章および 4 章で詳述する。

なお，上記の設備以外でも，簡易な監視装置の採用や電気主任技師の兼務など，トータルコストの低減に繋がる設備・対応については，関連法令と発電所全体の機能と安全性に影響を与えないことに配慮したうえ，積極的に取り入れてよい。

第２章　土木設備

第２章　土木設備

簡易発電システムとしてコストダウンを図る土木設備の要素技術としては，基本的に以下の３つの設備とする。 ①　取水設備 ②　水圧管路 ③　発電所基礎・建屋

【解説】

簡易発電システムとして,これまで発電に利用されてこなかった発電用ダム(河川維持流量)，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道水利施設の水など，落差・流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象としたことから，コストダウンを図る土木施設の要素技術として上記３施設について，水道や農業分野の実態を含めて調査・検討を行った。

これらの施設における要素技術の採用にあたっては,各施設の設定条件にあわせてその機能と安全性を十分に検討したうえ,イニシャルコストとランニングコストの両面に配慮して，総合的なコストダウンを図るものとする。

なお，その他，沈砂池，導水路，ヘッドタンク，余水路などの主要施設についても，従前の事例や検討結果などを参考にコストダウンに努めるものとする。

２．１　取水施設

簡易発電システムにおける取水設備としては，発電施設としてこれまで採用されてきた方式に加え，少量の取水に対して実績の持つ水道分野や農業分野における実績も考慮し,ランニングコストを含めた総合的なコストダウンとなるような形式を採用するものとする。

【解説】

簡易発電システムにおける取水設備は,“少ない水をいかに効率よく取水するか”という命題に対応したものとなる。このため，これまで発電で実績を挙げている渓流取水設備に加え，少量の取水に対して実績の持つ水道分野や農業分野における実績を航路して，効果的な取水形式を選択する必要がある。

また，平成 16 年度に実施したモニタリング調査では,取水設備の選定における配慮事項として，以下の 3 項目を挙げている。

1）土砂や塵芥などへの対応

2）保守のしやすや（流入土砂，塵芥を排除しやすい構造）

3）管理の状況（対応人員，管理所との距離，など）

これらの事項はいずれもランニングコストに影響する事項であり,簡易発電システムの管理に大きく影響する問題でもある。

従って，取水設備については，上記の事項に十分配慮したうえ，維持管理の容易さとイニシャルコストを勘案して，総合的なコストダウンとなるような形式を選択しなければならない。

２．１．１　取水方式

簡易発電システムにおける取水方式としては,表Ⅳ-2.1 に示す取水方式を参考に,現地状況に合わせて適切な方式を選定する。

【解説】

水道分野における取水施設は，「水道施設設置指針・解説(1990 厚生省監修)」によれば，

① 取水施設は，水源の種類にかかわらず年間通じて計画取水量を確実に取水できること

② 水質が良好であって，将来も汚濁のない地点に設置すること

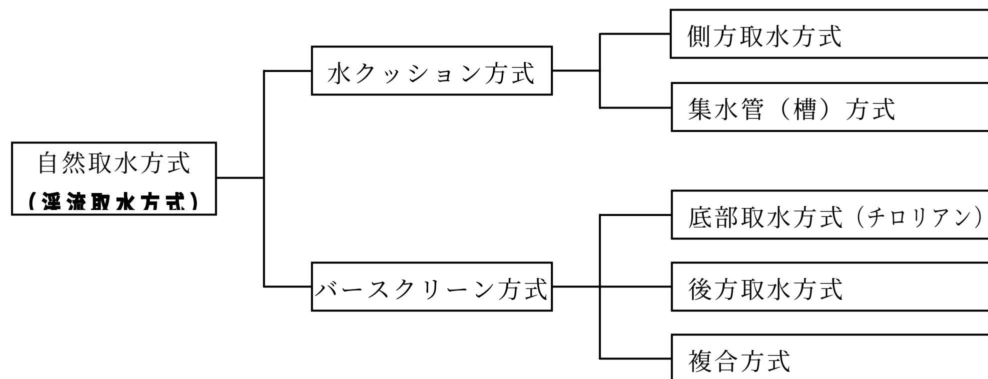
③ 洪水時等の悪条件下においても，維持管理が安全かつ容易に行えること

を考慮することとされている。

また，水道水源には地表水（河川・湖沼）と地下水（伏流水）があり，取水施設の

選定は，河川水を水源とする施設として「取水堰・取水塔・取水門および取水管渠」，地下水を水源とする施設として「集水埋渠・浅井戸および深井戸」の中から適切に選択するのが一般的である。さらに，河川水を水源とする場合で，水路勾配が急で巨石の流下などが流下する可能性があり，土砂の堆積が著しくて，みお筋や取水位の確保を十分に検討する必要があるような渓流取水の場合は，特に水クッション方式やバースクリーン方式を採用することが多い。

水道分野における渓流取水方式は，一般に次のように分類される。

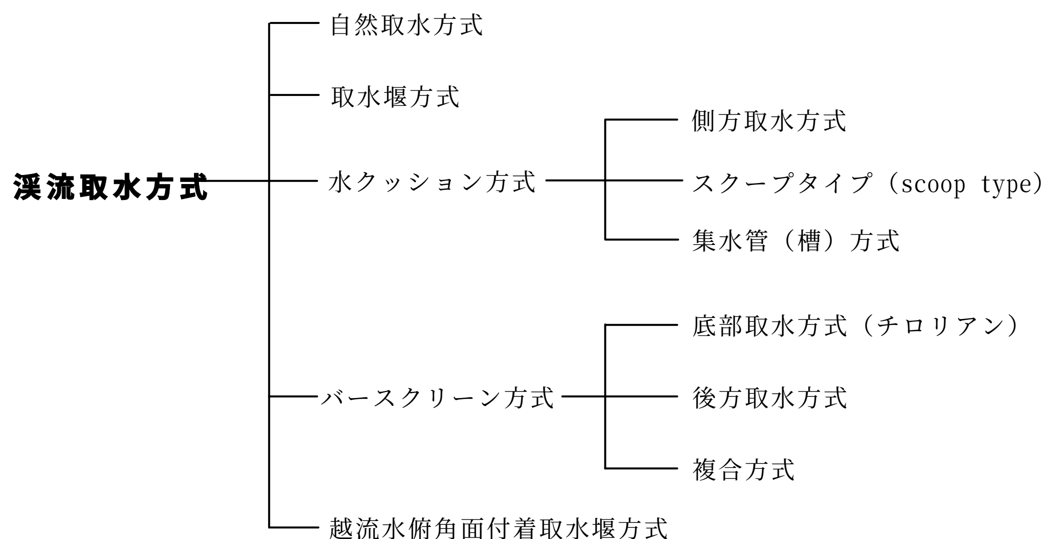


図Ⅳ-2.1　水道分野の渓流取水方式の分類

一方，農業分野では「土地改良事業計画設計基準・設計「頭首工」(平成７年７月　農林水産省構造改善局)」に渓流取水の要件として，

① 急激な流量変化に対して，安定した計画取水ができること
② 流下土砂礫，種々の浮遊落下物によって，取水障害が起こりにくいこと
③ 流石，流木等に対して堅牢であること
④ 構造が簡単で，維持管理が容易であり，その費用が低廉であること
⑤ 取水制限流量等の取水規則がある場合には，その条件を確実に満たし得る措置を講じること
⑥ 冬季，積雪，凍結のあるところでも取水障害が起こりにくく，損壊しにくいこと
⑦ 周辺の景観や，河川環境を損ねないものであること
⑧ 魚族の棲息する渓流河川では，その環境を保証し得るものであること

があげられており，農業分野における渓流取水の方法は，同基準によれば図Ⅳ-1.2 に示すように分類されている。



図Ⅳ-1.2　農業分野の渓流取水方式の分類

簡易発電システムにおける取水方式の例を，上記水道分野および農業分野の実績に発電分野の実績を加え，表Ⅳ-2.1　取水方式一覧」に整理した。

簡易発電システムにおける取水方式としては，表Ⅳ-2.1 に示す取水方式を参考に，現地状況に合わせて適切な方式を選定する。

表IV-2.1(1)　簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模	分類	概念図	概要	採用事例等 採用状況	備考
浸透水取水方式	小流量 0.002m^3/s/m^2 程度	多孔管		河床内の透水層に多孔塩ビ管等を設置し、浸透した流水を取水する方法。堆砂した砂防ダムに適用できる。	中国電力㈱周布川第一発電所 （Q=0.30m^3/s）	
		集水管方式 （集水暗渠）		渓流の河床面下に集水管を埋設し取水する方法。 長所：0.05m^3/s 程度の小規模取水では安定した取水が期待できる。 短所：取水量が大きくなると暗渠が大きくなり、取水地点が制限される。一般には維持管理は難しい。	東京電力㈱ 信濃川発電所 （Q=0.12m^3/s） 中国電力㈱ 安蔵川発電所 （Q=0.35m^3/s）	(ふとん篭＋集水管)
		透水マット		透水マットがフィルターの役目を果たし、水頭差を利用して取水する方法。	中部電力㈱春日発電所 ヘチマロン：プラスチック立体網状成形品	
		フトン籠		取水口などにフトン籠を配置し、流水をろ過する方法。	九州電力㈱　槙之口発電所 （Q=0.16m^3/s） その他、砂防ダム等	(ふとん篭＋集水管)
越流水付着水取水方式	小流量 0.016 m^3/s/m 以下 (単位幅当り)	―――		円弧状の堰頂部を流下する水を付着力によって俯角面に沿って取水溝に導く方法。 長所：土砂礫、流木等の流下物は分離され、除塵効果は高い。 短所：出水時には越流水が堰頂部を離れ、ほとんど取水が不可能になる。	金沢市企業局　新内川第二発電所 （Q=0.13m^3/s） 中部電力㈱　松川発電所 （Q=0.10m^3/s）	北電技術コンサルタント㈱ 平成８年８月実用新案登録

表IV-2.1(2)　簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模	分類	概念図	概要	採用事例等 採用状況	備考
集水井方式	小流量	表流水		堰または落差工の上流河床部に半円（矩形）状の集水井をつくり、構造物を有孔加工して取水する方法。	（集水井）	（導水管）
		伏流水		井戸底部付近に多孔集水管を放射線状に配置して取水する方法。 伏流水の流況が良ければ、安定した取水が可能。		
水クッション方式	小～中流量	側方取水方式		越流水は水クッション部で常流状態となり、水路側面にある取水口から取水する方法。	東北電力㈱　実川発電所 （Q=0.35m³/s） 中国電力㈱ 新大呂発電所 （Q=0.09m³/s）	（取水口）
		スクープ方式		下流側流出口（デフレクター）の敷高を流入口よりも高くし、水クッション部に沈積した土砂礫を下流へ掃流しながら、水路側壁に設けた取水口から取水する方法。 長所：比較的小粒の土砂礫に対する掃流効果は高い。 短所：水利模型実験を行い、最適形状を確認する必要がある。		
		集水槽方式		水クッション底床部に集水槽を設置した取水方法。流水を水クッション内で常流に保ち、ろ過層の浸透性を利用する。		

表Ⅳ-2.1(3)　簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模	分 類	概念図	概　要	採用事例等 採用状況	備　考
バースクリーン方式	中～大流量 0.1～0.3 ㎥/s/m (単位幅当り)	底部取水方式 （チロリアン）		固定堰越流部や落差工等に設定されたバースクリーンによって土砂礫、流木等を排除し、流入水を集水路に導く方法。 長所：構造が簡素で、取水効率に優れる。 短所：流木、浮遊流下物による目詰まりが生じやすい。		：後方取水方式
		後方取水方式		傾斜部にバースクリーンを配置し、水クッション部で常流状態となった流水を背面から取水する方法。 長所：土砂礫、浮遊流下物による目詰まりが起き難い。 短所：チロリアンに比べて構造が複雑。	富士川水系　琴川取水堰 （Q=0.232㎥/s）	
		複合方式		浮遊流下物等によるバースクリーンの目詰まりを防ぐために、スクリーンの取付け角を45～50°とし、越流水の取水と水叩き部からの背面取水を見込んだ取水方法。 長所：取水効率が良く、洪水時の取水にも適する。 短所：チロリアンに比べて構造が複雑。		
嵩上げ取水方式	中～大流量	―――		既設ダムの嵩上げにより得られた容量を利用し、取水口を設置して取水する方法。		：ゴムダムによる嵩上げ
水路落差工取水方式	中～大流量	―――		既設水路内の落差工を利用する取水方法。		
横取取水方式	小～中流量	淵利用側方取水 など		河川や水路などの流れの方向に対して、側面部に取水口を設けて取水する方法。 取水方法としては最も簡易であり、小量取水の事例が多くある。		

表Ⅳ-2.1(4)　簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模	分　類	概念図	概　要	採用事例等 採用状況等	備　考
提体穴開け取水方式	中～大流量	―――		ダム提体に管路を埋設し、取水口を設置して取水する方法。	電源開発㈱；秋葉ダム、活込ダム 東北地方建設局；鎧畑ダム、田瀬ダム 茨城県；藤井川ダム	
ゲートバルブ取水方式	中～大流量	―――		ゲートを改造して門扉にバルブを取り付けて取水する方法。		
既設管分岐取水方式	小～大流量	―――		既設の放流管を分岐して取水する方法。ダム利水放流管等に適用できる。		
サイフォン取水方式	小～大流量	―――		サイフォン作用を利用して取水する方法。一般には、管頂部に真空ポンプを配置する。	七色ダム（電源開発㈱；七色発電所）、活込ダム（電源開発㈱；足寄発電所）、丸尾ダム（関西電力㈱；和田発電所）いずれも河川維持流量の放流。	＜運転状況＞

２．１．２　取水設備の課題と対応

簡易発電システムにおける取水方式の選定にあたっては，現地状況に応じた課題を整理し,その課題に適切に対応することが基本となる。

【解説】

簡易発電システムにおける取水方式の選定にあたっては，現地状況に応じた課題を整理し,その課題に適切に対応することが基本となる。

参考として，簡易発電システムにおける取水設備を適切に選定するため，事例の多い渓流取水に注目して検討を行った。この検討では、渓流取水を題材に課題（問題点）を整理・分類し、取水施設が具備すべき機能を整理して、渓流取水における対応方法をまとめた。

取水施設に関するモニタリング調査を通じて得られた事項（現地調査および関係者からの聞取事項）と各種文献をもとに，渓流等から取水する場合に検討すべき一般的な事項を以下に整理した。

a　基本事項（渓流取水の特殊性）

日本及び世界各地に創意工夫を凝らした種々の渓流取水形式が存在するが，新規に計画する地点においてそれらを単純に適用させることはできない。

渓流取水として各種文献等に紹介される施設形式は,それぞれの特殊な条件のもとに発展した形式であるため，取水施設の形式を決定するにあたっては，当該地点の諸条件を的確に把握し,各施設の特性を十分に検討する必要がある。

b　渓流取水の一般的な課題（問題点）

渓流での取水には次項に述べる取水条件に対応した種々の問題があるが，一般的と考えられる問題点を以下に整理した。

(a) 取水口前庭部の埋没

一般的な取水施設では，安定取水と土砂流入防止などのために取水口前庭部は深みになっている。この深みを確保・維持するために，取水口の直下に固定堰や可動堰が設けられている。

渓流では，大量の砂礫や転石の流下があるため，この深みが埋没するおそれがある。

この深みを維持すること，あるいは，深みがなくとも安定的に取水することが大きな問題となる。

(b) 取水口の閉塞

一般的な取水工の取水口には，流木等の流入防止のためにスクリーンが設置される。ごく小規模のものを除き渓流取水工でもスクリーンは欠かせないが，渓流では平地部に比べて流木・蔓草・落葉・砂礫の流下が多く，これらがスクリーンに引っ掛かり，取水口が閉塞することが多い。

これら取水口（スクリーン）の閉塞が問題となる。

(c) 流入砂礫による障害

一般的な取水施設での流入土砂対策は，まず，深みのある前庭部を設けることによって接近流速を抑えて，土砂流入量自体を抑制することが必要になる。

次に，流入してしまった土砂が取水路に堆積しないよう，水路の掃流力・断面・線形等を考慮して,土砂が堆積することなく沈砂池（排砂口）まで移動できるように設計する。

さらに，沈砂池により流入した土砂を沈降させ，それを排砂することになる。

しかし，渓流取水工では多くの場合，(a)に述べた前庭部の埋没対策を優先せざるを得ないことから接近流速を落とすことが困難であり，このため多量の砂礫流入をある程度許容せざるを得ない。従って，「取水路への土砂の堆積」と「沈砂池での排砂」が大きな問題となる。

(d) 流下砂礫・転石による施設の磨耗・破壊

流下砂礫・転石による施設の磨耗・破壊についても注意が必要である。

c　取水条件の検討

(a) 検討項目

前述した渓流取水の一般的な問題のほか，それぞれの計画地点の条件に応じた種々の問題がある。渓流取水施設の設計に当たっては，当該地点での取水条件の特殊性を整理検討し，その取水条件に適応した渓流取水施設を設計しなければならない。

検討の対象となる主な取水条件を以下に示す。

1) 取水量に関する条件
2) 自然的条件
3) 水利使用に関する条件
4) 管理に関する条件

(b) 取水量に関する条件

取水量に関し，特に検討すべき事柄は次の３点である。

ア 対象取水量の程度

豊水時の流量を対象とするか,低水時(基底流量)を取水するかによって,渓流取水工の構造も異なったものになる。

豊水時（洪水時）の取水が必要なければ「取水口の閉塞問題」は小さくなり,「流入砂礫による障害問題」も小さくなる。しかし,その場合でも「取水口前庭部の埋没問題」は残り,「危険な増水時にどのようにして取水を停止するのか」という問題に対応する必要がある。

一方,低水時のみの取水に限定した場合,取水に関する問題は少なくなるが，取水量自体が少なくなるため，発電電力量に影響する。

取水施設の建設およびメンテナンスにかかる費用と発電電力量の問題にもなるが,両者を総合的に評価したうえ取水量を決定する必要がある。

イ 取水効率の問題

少ない水を如何に効率よく取水するか,ということが最大の課題となる。

取水効率を考える場合に問題となる主な事項としては,表面水取水の場合は取水口の閉塞であり，浸透流取水の場合は目詰まりだと考えられる。これらの問題への対応は取水設備の維持管理（メンテナンス）と関係することになる。つまり，容易に巡視ができるものとできないもの，自動的(遠隔操作を含む)に対応可能なものとそうでないもの,費用のかけ方，などが取水効率の増減に影響することになる。

ウ 河川維持流量

取水堰の水位変動に応じて、河川維持流量を的確に放流するためには流調ゲートなどの施設が必要となるが、簡易発電システムで対象とする小規模水力発電所においては、流調ゲートなどの施設にかかる費用が負担となる可能性がある。また、河川維持流量放流のために、流調機能のない放流孔を設ける場合があるが、この場合は取水堰の水位上昇に伴って河川維持流量を超える流量が放流されることになる。

この場合、河川維持流量を超える放流（無効放流）は取水効率低下の一因となる。

(c) 自然的条件

渓流取水施設特有の自然的条件としては,「流下砂礫の量･形状･硬さ」「流木・落葉等の量」「進入道路の有無」「取水地点の河川勾配及び落差」などが問題になる。

これらの要因が「取水口の目詰まり」や「浸透取水における目詰まり」,「目詰まり状況への対応（巡視・点検作業）」へ影響し,取水効率に作用することになる。

(d) 水利使用条件

「(b)取水量に関する条件」の「ウ　河川維持流量」でも記述したが、河川維持流量を確実に放流することが、水利使用における条件となる。

また,魚道の有無にも影響をうけ、魚道が存在する場合は対象魚種の遡上・降下に必要な流量を流下できるような構造としなければならない。

従って、簡易発電システムとしての水力発電計画を検討する場合、水利使用条件として河川維持流量とともに魚道の必要流量が影響することになる。

(e) 管理に関する条件

取水量または取水効率の問題を考える場合,管理に関する条件も影響する。主な項目としては,商用電源（配電線）に接続できるのか, 容易に発電所にアプローチできるのか（特に冬期等）, 人手がどの程度かけられるのか、などが問題となる。

無電源対応やメンテナンスフリーを検討する場合,初期費用の大きさとの比較検討が重要となる。

d　渓流取水施設が具備すべき機能の整理（提案）

渓流取水施設の設計に際しては,

1)　施設の維持管理に手間・費用がかからない

2)　安定的に取水可能

3)　流下転石等により破壊しない

ということが目的となる。しかし, 上記 3 つの目的を完全に満足することは容易ではない。そこで,簡易発電システムの取水設備として当該地点の状況に応じた選択ができるように, 上記目的をいくつかに分解・整理した。取水設備の選定に当たっては,現地状況を背景に以下の機能・構造を取捨選択し, 効率的な設備形式を選定するものとする。

① 取水口前庭部の深みが流下砂礫により埋没しないこと。又は, 取水口前庭部の深みがなくとも安定取水できる構造であること。

② 取水口が流木・蔓草・落葉などにより閉塞しないこと。

③ 取水口に引っかかった流木・礫が安全かつ容易に除去できること。

④ 砂礫の流入が少ないこと。または, 流入砂礫が容易に排砂されること。

⑤ 流入砂礫が集水路や取水路に堆砂しないこと。
⑥ 増水時の機側操作は不要のこと(増水時に渓流に入ることは危険)。
⑦ 流下転石により破壊されない施設であること。
⑧ 流下転石や砂礫により施設が損傷した場合に備えて,施設の改修が容易な構造であること。
⑨ 河川維持流量が設定されている場合，それを適切に放流可能なこと。

e　対策例（参考）

(a) バースクリーン方式

流木や土砂礫への対応として，バースクリーン方式の採用が考えられる。この方法は,一般的にチロリアン方式と呼ばれ,小流量を効率よく取水するため，渓流取水方式の代表例ともいえる。

バースクリーンの材料と断面形状には様々な形状の実施例があるが，鋼管が最も詰まりにくく，かつ，目詰まりに対しても除去し易いと考えられる。

しかし，鋼管でもどうしても流木や礫が詰まるため，増水時に取水効率が低下してしまうことが多い。流下礫が比較的柔らかい場合は石の形状が丸く挟まりにくく，挟まっても砕け易いことから，それほど問題とならない場合がある。一方,硬い扁平な石が多い場合は,砂礫がバーの間隙に食い込み，その取り外しに苦労している例も報告されている。

(b) 流入砂礫対策

増水時の砂礫の流入は，浮遊状態にあるものと水路底を転がってくるものとがある。浮遊状態にあるものは沈砂池まで運び，そこで沈降させるものとして対応するが，水路底を転がってくる砂礫は取水路の途中にサンドトラップと呼ばれるピットを設け,そこから常時一定水量を河川に還元させることによって砂礫を河川に戻すことができる。

この還元水は発電にとって無効放流となるが，取水制限流量（維持流量）の還元を兼用させることが可能であれば，維持流量の放流と流入土砂の排除が兼用できることになり,有効な対応方法となる。

２．１．３　取水方式の選定

> 簡易発電システムにおける取水方式の選定にあたっては，各適用施設の対象構造物と取水規模の適合性，および，各種水方式の適合性などを考慮して，適切な方式を選定する。

【解説】

簡易発電システムにおいて適用される施設を，対象構造物として整理した（表Ⅳ-2.2)。

表Ⅳ-2.2　各適用施設の対象構造物

[各適用施設について適合する構造物がある場合は○，ない場合は×とした]

適用施設／対象構造物	農業用施設	砂防ダム	発電用ダム	上・工水施設	下水道施設
ダム・堰堤(堰)	○	○	○	○	×
落差工・放水工※1	○	×	×	○	○
急流工・放水路※2	○	×	×	○	○

※１；ほとんど垂直に落ちる構造物とする。
※２；ある程度の勾配をもつ構造物とする。

次に,対象となる構造物ごとに,適応の可能性がある取水方式を整理した(表Ⅳ-2.3)。ここで,ダム・堰堤(堰)のうち，砂防ダムに対応する構造物については特に流入土砂への考慮が必要なことから，別に区分して整理することにした。

表Ⅳ-2.3　各適用施設の対象構造物への適合性

[各対象構造物についてそれぞれの取水方式が適合する場合は○，しない場合は×とした]

取水規模※	取水方式	ダム・堰堤(堰)		落差工・放水工	急流工・放水路
		砂防施設	砂防以外		
小流量	浸透水	○	×	×	×
	越流水付着	○	○	×	×
	集水井	○	×	×	×
小，中流量	水クッション	○	○	×	×
中，大流量	バースクリーン	○	○	×	×
	嵩上げ	○	○	×	×
	水路落差工	×	×	○	×
小～大流量	横取	○	○	○	○
	堤体穴開け	○	○	×	×
	ゲートバルブ	×	○	○	○
	既設管分岐	×	○	×	×
	サイフォン	○	○	○	○

※；小流量は 0.1m^3/s 未満，中流量は 0.1～1.0m^3/s 未満，大流量は 1.0m^3/s 以上，を目安とする，

さらに，土砂の混入や塵芥の混入など，設計・管理を考える上で条件となる事項に対し，各取水方式の特性を整理した(表Ⅳ-2.4)。

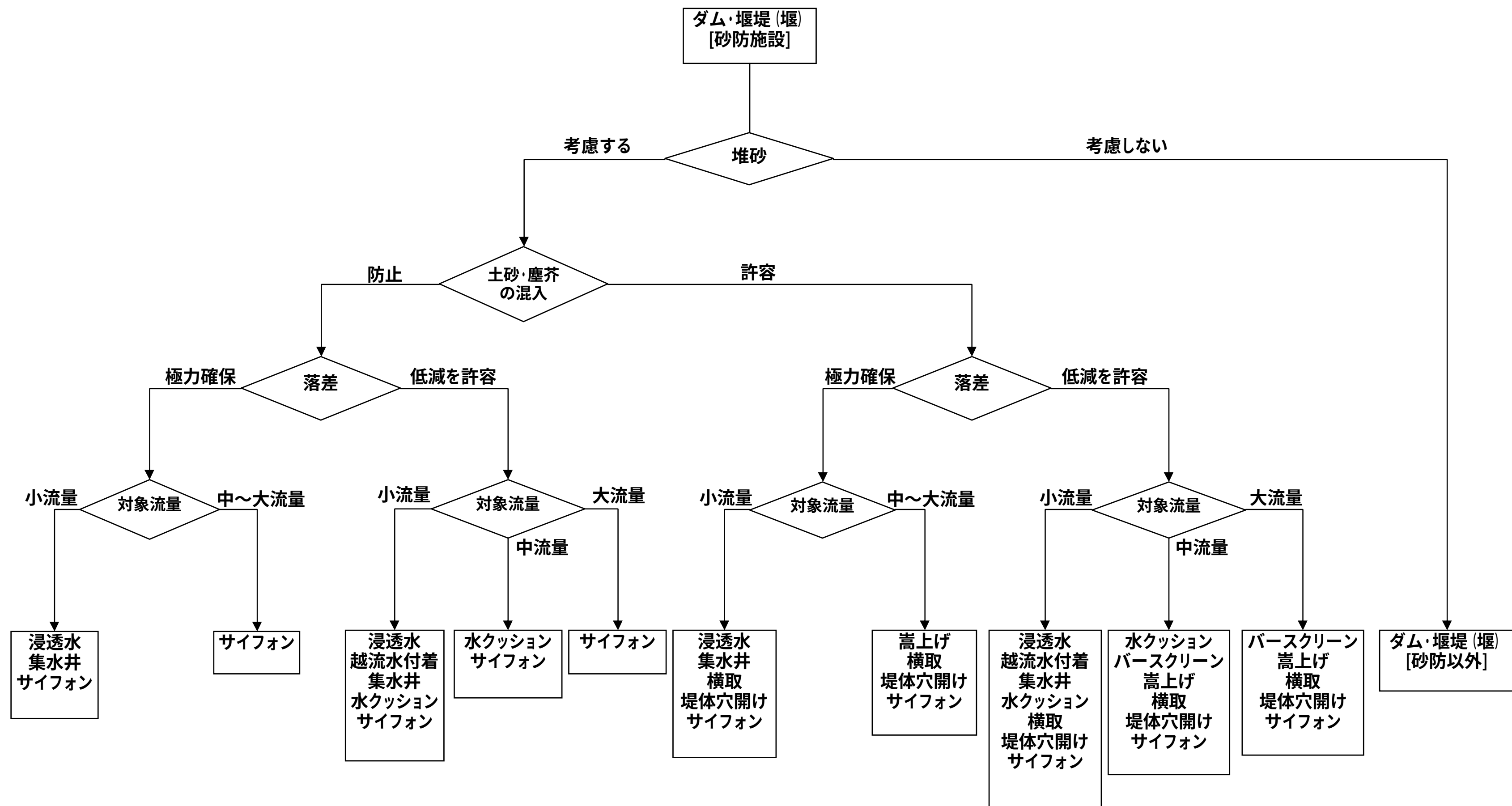
表Ⅳ-2.4　各取水方式の特性

取水方式	土砂の混入	塵芥の混入	取水口部での損失水頭	水路内への設置
浸透水	混入し難い	混入し難い	落差若干低減	不可
越流水付着	混入し難い	混入し難い	落差低減	可
集水井	混入し難い	混入し難い	落差若干低減	不可
水クッション	混入し難い	混入し難い	落差低減	不可
バースクリーン	混入する	混入する	落差低減	可
嵩上げ	混入し難い	混入する	影響なし	可
水路落差工	混入する	混入する	影響なし	可
横取	混入する	混入する	影響なし	不可
堤体穴開け	混入する	混入する	影響なし	可
ゲートバルブ	混入し難い	混入し難い	影響なし	可
既設管分岐	混入し難い	混入し難い	影響なし	不可
サイフォン	混入し難い	混入し難い	影響なし	可

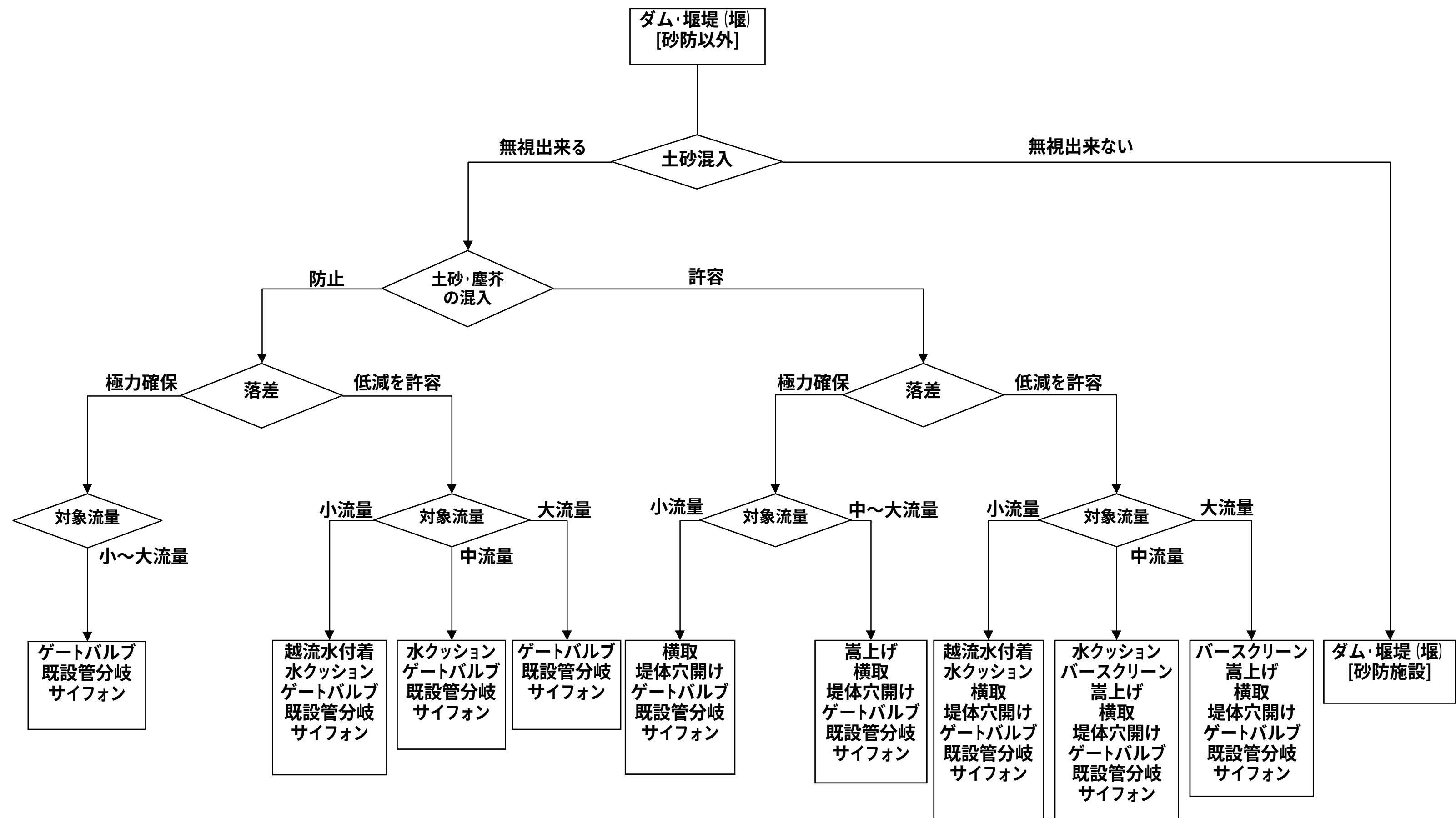
表Ⅳ-2.2～2.4 に整理した事項を念頭におき，取水形式の絞込みフロー(例)を作成した（図Ⅳ-2.3～2.6)。

簡易発電システムにおける取水形式としては，ここに示すフローにより選択することができる。

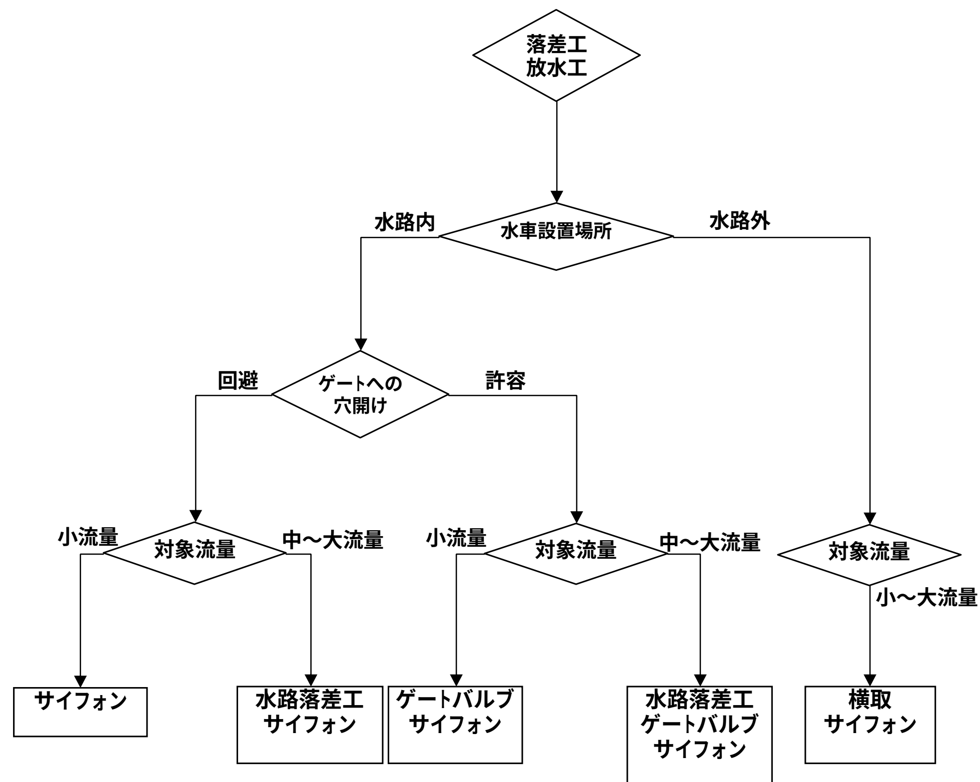
なお，ここで示すフローは，あくまでも基本的な考え方を示すものである。沈砂池や除塵機などの補助的な施設の設置や各地点の特異性などを考慮することにより,フローに適合しないような取水設備の選択も可能となる。



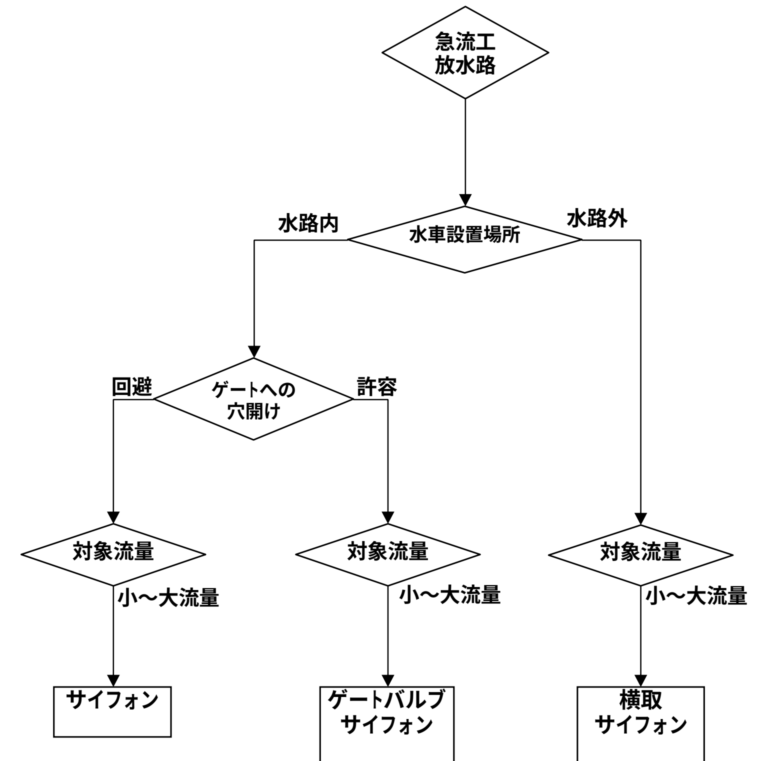
図IV-2.3 ダム・堰堤(堰) [砂防施設] における取水形式絞込みフロー



図IV-2.4 ダム・堰堤(堰) [砂防以外] における取水形式絞込みフロー



図IV-2.5 落差工・放水工における取水形式絞込みフロー



図IV-2.6 急流工・放水路における取水形式絞込みフロー

２．２　水圧管路

２．２．１　対象管種

簡易発電システムにおいて使用する水圧管路としては,「発電用水力設備の技術基準　省令第 26 条に対応する（技術基準の解釈　第 22 条)」に規定される管のほか, 一般市販管として以下の 3 種を使用することができる。 ① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管） ② ポリエチレン管（ポリ管） ③ 耐圧ポリエチレンリブ管[ハウエル管](リブ管)

【解説】

簡易発電システムにおいて使用できる管種は,「発電用水力設備の技術基準　省令第 26 条に対応する（技術基準の解釈　第 22 条)」に規定される管のほか, 一般市販管として上記 3 種を使用することができるものとした。

小流量・低落差 ”を対象とする簡易発電システムにおいては, 水道や農業（パイプライン), 下水道などにおいて利用されている硬質塩化ビニル管などの「安価で施工性の良い一般市販管」の採用によりコスト削減の可能性がある。

一般市販管としては上記 3 種に加え,これまで発電設備として利用された実績が少ないプレストレストコンクリート管（ＰＣ管）についても対象となる。

適用管種の設定にあたっては, まず, 発電以外の分野における圧力管路としての適用実績について表Ⅳ-2.5 に整理した。

表IV-2.5　他分野における適用管種一覧表

管　種	農　業 ※1	水　道 ※2	下水道 ※3	工業用水 ※4	備　考
遠心力鉄筋コンクリート管 (ヒューム管)	○		○	○	
プレストレストコンクリート管 (PC 管)	○			○	
鋼管(ステンレス鋼管含む)	○	○(配・給水)	○	○	発電で採用
ダクタイル鋳鉄管	○	○(配・給水)	○	○	発電で採用
FRP(M)管	○		○		発電で採用
硬質塩化ビニル管	○	○(配・給水)	○	○	
ポリエチレン管	○	○(配・給水)	○		
銅管		○(給水)			
鉛管(ポリエチレン粉体ライニング)		○(給水)			
ポリブデン管		○(給水)			
耐圧ポリエチレンリブ管			○		
現場打ちコンクリート管			○		発電で採用
陶管			○		

[参考] ※１;「土地改良事業計画設計基準」, ※２;「水道施設設計指針」,
※３;「下水道施設計画・設計指針」, ※４;「工業用水道施設基準」

ここで，表Ⅳ-2.5 に示される管種の特徴は以下のとおりである。

表Ⅳ-2.6 他分野における適用管種の特徴

管　種	特　徴
遠心力鉄筋コンクリート管（ヒューム管）	耐食性・耐久性が大。電食の恐れなし。重量が重い。
プレストレストコンクリート管（PC 管）	同上
鋼管(ステンレス鋼管含む)	強度が大。耐久性に富み，靭性・延性が良い。耐衝撃性に優れ，重量は比較的軽い。電食に配慮要。
ダクタイル鋳鉄管	強度・耐久性が大きく，耐食性も優れる。電食の恐れが少ない。重量は比較的重い。
FRP(M)管	軽量で施工性が良い。耐食性，耐磨耗性，耐電食性，耐衝撃性に優れる。
硬質塩化ビニル管	軽量で施工性が良。耐食性，耐電食性に優れる。低温時に耐衝撃性が低下。有機溶剤，熱，紫外線に弱い。
ポリエチレン管	軽量で施工性が良い。耐衝撃性，耐食性に優れる。比較的柔らかく傷がつきやすい。有機溶剤に注意を要する。
銅管	引張強さ，耐アルカリ性に優れる。肉厚が薄くつぶれ易い。
鉛管(ポリエチレン粉体ライニング)	柔軟性に富み加工が容易。
ポリブデン管	高温時でも高い強度を持つ。熱水腐食に強い。
耐圧ポリエチレンリブ管	軽量で施工性が良。耐食性，耐電食性に優れる。
現場打ちコンクリート管	工場製品の使用が不可能な場合に採用。
陶管	耐酸・耐アルカリ性に優れ，磨耗に強い。衝撃に対しやや弱い。

表Ⅳ-2.5 に整理した管材のうち、銅管，鉛管およびポリブデン管については対応管径が比較的小さく鋼管に比べて高価であること，陶管については内圧管としての実績がほとんど無いことを考慮して対象外とした。

さらに，小流量・低落差の簡易発電システムへの採用を前提とし，

○ 発電での採用がほとんど無く，

○ 複数の分野で使用されていて，

○ 現時点で容易に入手可能と考えられる

という点に考慮して，一般市販管の検討対象管種を以下の 5 種に選定した。

① 硬質塩化ビニル管

② ポリエチレン管

③ 耐圧ポリエチレンリブ管

④ 遠心力鉄筋コンクリート管

⑤ プレストレストコンクリート管

次に，各管の基本性能（JIS 規格，協会・メーカー基準）および製作実態について調査し，簡易発電システムへの適用の可否を整理した（表Ⅳ-2.7）。

表Ⅳ-2.7　簡易発電システムへの適用の可否

	規格	基本性能		継手性能	製作実態	適用の可否
		使用圧力	管径			
硬質塩化ビニル管	JIS K 6741	○ (1.0MP 以下)	○ (800mm 以下)	○	○	○
	JIS K 6742	○ (0.75MP 以下)	× (150mm 以下)	○	○	×
ポリエチレン管	JIS K 6761	○ (規定なし)	○ (300mm 以下)	○	○	○
	JIS K 6762	○ (0.75MP 以下)	× (50mm 以下)	○	○	×
	——	○ (1.0MP 以下)	○ (1,500mm 以下)	○	○	○
耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780	○ (規定なし) (メーカー:0.1MP 以下)	○ (2,000mm 以下)	○	○	○
遠心力鉄筋コンクリート管	JIS A 5372	○ (0.4～0.6Mp 以下)	○ (3,000mm 以下)	○	×	×
プレストレストコンクリート管	JIS A 5373	○ (規定なし) (協会:0.6MP 以下)	○ (3,000mm 以下)	○	○	○

[凡例]；　使用圧力：○＝内圧管として使用可能，×＝内圧管として使用不可能
管　径　：○＝φ200 以上が存在，×＝φ200 以下
継手性能：○＝継手部が強度・水密性から弱点にならない，×＝継手部が弱点になる
製作実態：○＝製作している，×＝製作していない
適用可否：○＝簡易発電システムへの適用可能，×＝適用は難しい

表Ⅱ-2.7 に示す整理結果より，簡易発電システムの水圧管路の対象を以下の管材に絞り込むものとした。

① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管）
② ポリエチレン管（ポリ管）
③ 耐圧ポリエチレンリブ管（ポリリブ管）
④ プレストレストコンクリート管（PC 管）

なお，各管の基本性能として JIS 規格の規定内容を整理した。その結果を巻末資料に添付する。

２．２．２　一般市販管の適合性

簡易発電システムにおいて使用可能とした一般市販管は，その使用にあたって，その機能や性能が簡易発電システムの水圧管路として適合することを確認するものとする。

【解説】

簡易発電システムにおいて使用可能とした一般市販管について, 既往の基準 (『水門鉄管技術基準 水圧鉄管編』及び『水門鉄管技術基準 FRP(M)編』) と比較する形で技術的に検討すべき項目を抽出し, その性能を確認するための試験方法を抽出･整理した。この結果については,「技術的検討が必要な項目ならびに検討方法」として, 巻末資料に添付する。

さらに, それらの試験が JIS 基準や協会基準, メーカー基準においてどのように規定され, 必要な試験の全てに対応しているか, また, 不足している場合は大学や民間研究機関などの試験により補完できるのか, ということについて調査・検討した。この結果を,「要求性能を満足するための技術的根拠として, 表Ⅳ-2.8～11 に整理した。

ここで, 表Ⅳ-2.8～11 の要求性能として整理・抽出した項目は, FRP(M)を水力発電所の水圧管路として採用する際に検討された項目を基本として, 各管の技術基準や設計資料で検討されている項目を加えて, 考えられる検討項目を総括したものである。

表Ⅳ-2.8～11 によって, 一般市販管を簡易発電システムの水圧管路に適用するための基本性能が再整理された。この表によって, 一般市販管を水圧管路として適用するにあたり要求される項目を, 管の基本性能として満足する部分（評価）と, 設計（計画）で対応する部分（対応）に区分することができる。

この結果をもとに, 要求性能を確認した規格・基準等と評価または対応の内容を抽出した。そのうえで, 抽出した各基準がその他の基準とどのような関係になっているかを整理し, さらに, 設計（計画）での対応方法や基本的に問題とならない項目などを整理して, 最終的に各管を簡易発電システムの水圧管路として採用する際の準拠基準を絞り込んだ。その検討内容を表Ⅳ-2.12～15 に示す。

以上の検討から, 簡易発電システムの水圧管路としての適合性を評価するためには, 一般的に以下の基準に準拠していることを確認するものとする。

1) 塩ビ管　⇒　JIS K 6741 (1999)
2) ポリ管　⇒　日本水道協会の基準
3) リブ管　⇒　高耐圧ポリエチレン管協会の基準
4) PC 管　⇒　JIS A 5373 (2004)

なお,その規模や重要度が大きい場合や,問題が発生した場合に影響が大きくなる場合などには，必要な要求性能に応じた強度・材料特性などを個別に確認しなければならない。

表IV-2.8　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） JIS K 6741	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 協会規格(*3)資料(*4)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
1　材料特性	（確認方法等）								
1.1　管（供試片)の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	（該当する規定はない）	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	（該当する規定はない）	物性値として，「圧縮強さ73MPa」と記載(a)。（試験方法：JIS K 7181，15℃）	基本的な物性として，一定値を明示	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2　管（供試片)の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	(同上)	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	「23℃における引張降伏強さが45MPa以上」と規定(b)。（試験方法：JIS K 6815-1及びJIS K 6815-2）	物性値として，「引張降伏強さ52MPa」と記載(c)。（試験方法：JIS K 7113，15℃）	JIS基準に準拠することが基本	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において最も基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	JIS K 6815はISO規格の翻訳規格。JIS K 7113とは，試験片形状，引張速度等が異なる。 基準案⇒ 第14条
1.3　管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験（耐圧試験)	内圧（0.5～2.6Mpa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	「常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(d)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	同上	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第3条［解説］(7)
1.4　外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	（該当する規定はない）	設計上の許容たわみ率は5%としている。	（該当する規定はない）	1.5の扁平性がJISで規定されており，JISに準拠した製品であればその扁平性能（外圧に対する抵抗性）は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」(e)（以下，"農林基準"と略す）や日本水道協会　水道施設設計指針(f)（以下，"水道指針"と略す）に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.5　外圧に対して，管本体はどの程度たわむのか。	環片圧（扁平性）試験	（該当する規定はない）	（該当する検討事項はない）	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	「23℃で管の外径が1/2になるまで圧縮し，割れ及びひびがあってはならない」と規定(g)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	管の扁平性能（たわみ強さ）を確認するための試験であり，JIS 6741に規定されている。従って，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.6　クリープに関する特性はどの程度なのか。	クリープ試験	(同上)	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	ISO規格への対応性能（付属書）として，「熱間内圧クリープ性」が記述されている(h)。	クリープ試験結果から求めた設計応力は，引張応力が10.8MPa，曲げ応力が19.6MPa(i)。	同上	過去の研究で，JIS K 6741規格品は，最小要求強さ（MRS)（20℃で50年間，管が破壊しない一定応力値）が25.0MPaであることが確認されている(j)。従って，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6741付属書に規定される熱間内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	協会では，JIS K 6741規格品の最小要求強さ（MRS)（ISO/TR9080によって測定される長期静水圧強度の信頼下限値（LCL）をもとにISO 12162に従って求められる）が，ISO 4422と同等であることを確認している(j)。 基準案⇒ 第14条［解説］
1.7　充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向水密限界試験	(同上)	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	ゴム輪接合の場合，管路の伸縮はゴム輪受け口部で吸収されるため管自体に引張力は作用しない。	

(a),(c) ；塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　2.塩ビ管の諸性能（P49）
(b) ；JIS K 6741　5.性能　及び　9.3 引張試験
(d) ；JIS K 6741　5.性能　及び　9.4 耐圧試験
(e) ；農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」(平成10年3月)　9.1.3 荷重に対する安全性の検討　(2) 許容たわみ量と設計たわみ量（P257）
(f) ；日本水道協会　水道施設設計指針(平成12年3月)　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　3.硬質塩化ビニル管管厚計算式　2) 外圧と撓み、発生応力（P462）
(g) ；JIS K 6741　5.性能　及び　9.5 引張試験
(h) ；JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.2 熱間内圧クリープ試験
(i) ；塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　3.塩ビ管の管厚設計[解説](2)設計応力(P52,53)　、「水道指針」　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　3.硬質塩化ビニル管管厚計算式　1) 内圧と管厚(P459) 及び 2)　外圧と撓み、発生応力（P462）
(j) ；塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ.設計　3.塩ビ管の管厚設計[解説](2)設計応力(P52,53)

表IV-2.8　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			硬質塩化ビニル管（PVC-U）				備　考
		JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6741	協会規格(*3)資料(*4)	ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	水圧管路への適用における評価・対応	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	（該当する規定はない）	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C, T, B, D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	「接合した状態で，常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(k)。	JIS基準に準拠することが基本 農業用塩ビ管の性能として，「接合した状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(l)。	JIS基準に準拠することが基本	内圧強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。JISに準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，JIS K 6741に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	ISO規格への対応性能（付属書）として，「挿口部5%偏平状況で，0～0.05MPaの内水圧で異常があってはならない」と記述されている(m)。	「接合部の挿管を5%偏平させた状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(n)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの水密性を確保するため，必要に応じて、協会規格（AS 25）に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	ISO規格への対応性能（付属書）として，「接合部を自由角+強制角(2°)に曲げ，0～0.05MPaの内水圧で異常があってはならない」と記述されている(o)。	「接合部を3°曲げた状態で，常温で水圧（1種：2.5MPa，2種：2.0MPa，3種：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(p)。	同上	基本的に，継手を曲げた状態で管を付設することはないが，可とう性継手としての性能を確保するため，協会規格(AS 25)に適合することを確認する。 なお，規格異形管にない小角度の曲線設置を直管の可とう継手部で行う場合には，継手の許容曲げ角度における水密性を確認する(AS 25に準拠すれば3度の曲げ角までは直線と同等の水密性を確保できる）(p)。	基準案⇒ 第24条、39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	（該当する検討事項はない）	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	ゴム輪接合では，離脱防止金具等の抜け出し防止を施した状態で，常温で水圧（VP：2.5MPa，VM：2.0MPa，VU：1.5MPa）を加え，1分間保持し，漏れその他欠点がない(q)。	基本的に問題はないが，継手部に引張力が作用しないように設計する。 なお，スラスト力が発生する部分などに離脱防止器具等を用いる場合は，その強度等を適時確認する。	[基本的に設計で対応する]
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	ゴム輪継手が基本となるため，継手効率を考慮する必要はない。	基準案⇒ 第13条
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部の疲労(繰返荷重)はゴムによって吸収されるため，基本的に問題はない。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は本体と同じ素材または合成樹脂製が主体であるため，紫外線にさらされないように配慮しなければならない。 ゴム輪については，JIS K 6741においてJIS K 6353に準じた材料の使用が規程されている(r)ため，JIS K 6741及びJIS K 6353に適合することを確認する。なお，ゴム輪自体についてもオゾンや紫外線によって劣化するため，適切な対応が必要となる。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第8条、22条、24条

(k) ； JIS K 6741　5.性能　及び　9.9 接合部耐圧試験
(l) ； 塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.1 直線水圧試験
(m) ； JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.6.4 接合部扁平水圧試験
(n) ； 塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.2 扁平水圧試験
(o) ； JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.6.5 接合部曲げ水圧試験
(p) ； 塩化ビニル管・継手協会規格　「農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則　AS　25：2000 」　7.3 曲げ水圧試験
(q) ； 日本水道協会規格 JWWA K127～K131 :2000 解説
(r) ； JIS K 6741　8.2.ゴム輪の材料

表IV-2.8　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［注；”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） JIS K 6741	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 協会規格(*3)資料(*4)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
3　疲労特性	（確認方法等）								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧疲労試験	（該当する規定はない）	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	外圧疲労については，浅層埋設に対応した自動車荷重繰返試験(s)で問題なし。 内圧疲労については，試験方法の規格（AS T52：硬質塩化ビニル管継手の脈動水圧疲労試験方法）を制定しているが，性能は規定していない。	協会規格（性能）に準拠することが基本	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。また，(財)道路保全技術センターで実施された埋設管の疲労限界状態の照査結果（埋設管の50年間相当輪荷重による累積疲労に対して問題ない）(s)や，メーカーによる脈動水圧疲労試験（0.4⇔2.0MPaの水圧負荷変動106回繰返しで問題なし）(t)から判断して，疲労に対しての安全性は問題ないものと考えられる。 なお，必要に応じて，AS T52に規定される脈動水圧疲労試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	
3.2 管（供試片)の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	
4　耐衝撃性	（確認方法等）								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	（該当する規定はない）	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	（該当する規定はない）	ISO規格への対応性能（付属書）として，「20℃における衝撃率（TIR）が10%未満」と記述されている(u)。	鉄球落下試験を実施。他の管種に比べて対応性が高いことを確認(v)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。 なお，必要に応じて，JIS K 6741付属書に規定される外衝撃耐久試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	メーカーのＪＩＳ K 6741適合品の一般的性質として、シャルピー衝撃値を明示(w)。	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	（確認方法等）								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	（該当する規定はない）	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	（該当する規定はない）	耐摩耗試験装置を用いた試験により，HP管，厚陶管に比べて耐摩耗性が大きいことを確認(x)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」にて塩ビ管の耐磨耗性に関する記述より，塩ビ管の対磨耗性はヒューム管や陶管に比べて高いことが確認される(x)。また，広島大学による各種管材の耐摩耗性に関する試験結果(y)では，塩ビ管の対磨耗性がFRPより優れ，鋳鉄管と同程度であることが報告されている。さらに，農林基準や水道指針においては磨耗に関する規定がない。 従って，塩ビ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，協会資料に対応した試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2　　同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	（該当する規定はない）	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3　　同上	実流管路による耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(s)；（財）道路保全技術センター　「道路占用埋設物件の浅層化技術検討　報告書」 平成10年11月　Ⅱ浅層化による埋設管路に及ぼす影響　2.疲労限界状態の照査、及び、塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　参考資料　3.4　浅層埋設における実験結果
(t)；Ｓ社　JIS K 6742及びJwwa AS22規格品　製品説明書　3.15 管と継手の脈動水圧疲労試験　(P22)
(u)；JIS K 6741　5.性能　、付属書１（規定）　2.性能　及び　3.4 衝撃試験
(v)；J塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　10.3 落錘試験(P97)
(w)；M社、K社(JIS K 6741規格品) 基本物性
(x)；塩化ビニル管・継手協会　下水道用硬質塩化ビニル管技術資料　4.4 耐摩耗性（P19）
(y)；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　付属資料4,5 (広島大学報告書　ポリエチレン管の耐摩耗性⇒塩ビ管についても比較検討)

表IV-2.8　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

[注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書[*1]	FRPM管 技術基準[*2]	硬質塩化ビニル管（PVC-U） JIS K 6741	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 協会規格[*3]資料[*4]	硬質塩化ビニル管（PVC-U） ﾒｰｶｰその他の資料[*5]	硬質塩化ビニル管（PVC-U） 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
6　耐候性	（確認方法等）								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	（該当する規定はない）	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験結果のﾃﾞｰﾀあり[z]。埋設とすれば現実的に問題とならないが，露出形式では直射日光による管の劣化を防ぐため保温工などの防護処置を行うことが基本となる。	屋外で使用した場合，紫外線による劣化により，長期的には管が割れる可能性がある。また，農林基準や水道指針では埋設を前提としている。 従って，埋設を基本とし，屋外で使用する場合は何らかの紫外線対策を施す必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
6.2 同上	暴露試験	（同上）	①3年の暴露試験で強度変化なし	（該当する規定はない）	（同上）	屋外暴露試験結果のﾃﾞｰﾀあり[aa]。埋設とすれば現実的に問題とならないが，露出形式では直射日光による管の劣化を防ぐため保温工などの防護処置を行うことが基本となる。	協会規格（性能）に準拠することが基本		
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	（同上）	（該当する検討事項はない）	火山地帯で見られる酸性水，コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	「各試験液とも質量変化度は±0.20mg/cm²」と規定[ab]	塩ビはプラスチックの中でも高い耐薬品性を有する[ac]。通常の水輸送であれば現実的に問題とならない。	同上	既往資料（複数のメーカーの技術資料）により，酸・アルカリ性の薬品が使用可能なことが明確にされている[ad]。従って，簡易発電システムで対象とする一般的な設備の範囲では問題ないものと考えられる。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品の流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　温度特性	（確認方法等）								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	（該当する規定はない）	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	塩ビ管の第2次(ガラス)転移点は-5～5℃とされ，この時点ではセグメントが凍結状態になって伸びが低下する[ae]。そのため，薄肉のVU管では耐衝撃性が低下する。従って，寒冷地においては埋設を基本とする必要がある。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	（同上）	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	（同上）	「ビカット軟化温度76℃以上」と規定（試験方法：ISO 2507-1及びISO 2507-2）[af]	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	塩ビ管の第1次(軟化)転移点（ビカット軟化温度)は76～80℃とされ，この時点ではセグメントが熱振動し軟化が目立つことになる。JISに準拠した製品であればその高温特性は守られているものとみなせるので，通常温度（45℃以下）で使用するとともに，JIS K 6741に適合することを確認する。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	JIS K 6741の対応国際規格の一つであるISO 4422では，45℃までの水輸送に使用する管，継手を規定。ただし，温度による最高使用圧力の低減係数が定められている。 [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐燃性試験	（同上）	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	塩ビの特性として，自己消火性があるため，火種が継続して作用しない限り，着火したとしても自然に消える[ag]。また，農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については基本的に問題がない。	[基本的に設計で対応する]

(z)　；　Ｓ社　JIS K 6742及びJwwa AS22規格品　製品説明書　3.13 耐候性試験　(P19)
(aa)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　10.4 耐候性(P99)
(ab)　；　JIS K 6741　5.性能　及び　9.6 耐薬品性試験
(ac)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　注意事項(P51)
(ad)　；　S社、M社、K社(JIS K 6741規格品) 耐薬品性
(ae)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　(2)温度による状態変化と加工温度(P50)
(af)　；　JIS K 6741　5.性能　及び　9.7 ビカット軟化温度試験
(ag)　；　塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅰ序章　1 用語 31.耐燃性(P5)

表IV-2.8　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（硬質塩化ビニル管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：塩化ビニル管・継手協会規格「AS25（農業用水用硬質塩化ビニル管の管継手・異形管通則）」
(*4)：塩化ビニル管・継手協会資料「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」，「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」
(*5)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

管材料 / 要求性能等	FRPM管			硬質塩化ビニル管（PVC-U）				備　考
	JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6741	協会規格(*3)資料(*4)	ﾒｰｶｰその他の資料(*5)	水圧管路への適用における評価・対応	
8　物理定数								
8.1 弾性係数	（該当する規定値はない）	①設計に用いる諸数値として明記。	（数値の明記はない）	（該当する規定値はない）	物性値として，「引張弾性率3350MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113，15℃）(ah)	管の諸性能として規定(ai)	協会資料等に規定される値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比	(同上)	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	(同上)	(同上)	物性値として，「ポアソン比0.38」と記載（試験方法：JIS K 7161，15℃）(ah)	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）	(同上)	同上	(同上)	(同上)	物性値として，「比重1.43」と記載（試験方法：JIS K 7112，水中置換）(ah)	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数	(同上)	同上	(同上)	(同上)	物性値として，「線膨張率6～7×10-5℃-1」と記載（試験方法：JIS K 7197）(ah)	同上	同上	基準案⇒ 第14条
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は内外面が滑らかで使用上師匠となる傷・われなどの欠点がないこと，形状は実用的にまっすぐで，かつ，正円とみなせ，両端面は管軸に対して直角であること，を目視によって確認する(aj)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	JIS K 6741に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，マイクロメータ(JIS B 7502)，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する(ak)。	(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注者の仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている(al)。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	(同上)	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	(同上)	(同上)		充水試験と同様に，基本的には発注者の仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている(am)。	基準案⇒ 第61条

(ah) ； 塩化ビニル管・継手協会　「水道用硬質塩化ビニル管技術資料〈規格・設計編〉」　Ⅲ設計　2 塩ビ管の諸性能　(P49)
(ai) ； S社、M社、K社(JIS K 6741規格品)　基本物性
(aj) ； JIS K 6741　6.1 外観、10.検査 a)形式検査 1) 外観検査
(ak) ； JIS K 6741　9.2 寸法、10.検査 a)形式検査 3) 寸法検査
(al) ； [農林基準」　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　(P445)
(am) ； [農林基準」　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　(P447)

表IV-2.9　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
		JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	(確認方法等)								
1.1 管（供試片)の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	（該当する規定はない）	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2 管（供試片)の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	(同上)	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	コンパウンド（顆粒状の原材料）の引張降伏強度として，PE50で9.2MPa以上，PE80で18.7MPa以上と規定(a)。 また，管体の試験方法(JIS K 6815)を規定(b)。 材料規定に移行する前の旧規定では，引張降伏強度を1種管（PE50）で9.8MPa以上，2種管（PE80,100）で19.6MPa以上と規定していた(c)。	JIS K 7161により，引張降伏強さ20MPa,引張破断強さ38MPa，と規定(d)。	引張降伏強さ20MP,引張破断強さ38MPa(e)	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において最も基本となる強度である。JISにおいては，管体の規定から材料の規定に移行しているため，現時点においては協会規格，メーカー規格（いずれも管体の規定）と記述が異なる。 ここで，農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」（以下，"農林基準"と略す）では、JIS6761に準じた製品であることを前提に許容引張応力度を設定している(f)。一方、日本水道協会　水道施設設計指針（以下，"水道指針"と略す）では，長期性水圧強度（PE100の材料使用を前提に10MPa）を引張強度としているが,許容曲げ応力の設定対してはJIS6761の引張降伏強度相当を基本に設定している(g)。 従って，両基準（指針）に準じ，JIS6761に準じた引張強度を確保することを基本とし，採用にあたってはJIS K 6761に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6815に規定される引張試験の実施を要求する。	PE50;50年後の最終要求強度が5.0MPa，PE80;同8.0MPa 基準案⇒ 第14条
1.3 管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験 (耐圧試験)	内圧（0.5～2.6Mpa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	（該当する規定はない） 材料規定に移行する前の旧規定では，管厚・基本強度に応じた試験内圧を設定し,その内圧に対して漏れや異常がないことを確認することとなっていた(h)。	耐圧試験2.5MPで，漏れ，変形，破損，その他欠点がないことを確認する (d) 。	協会規格（性能）に準拠することが基本	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。水道協会規格に準拠した製品であればその強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会規格に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会規格に準じた内圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第3条［解説］(7)
1.4 外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ 外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	（該当する規定はない）	EF接合部の近傍の管を外径の50%へん平したあと，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れ・その他件点がない(i)。	同上	1.5の扁平性が協会規格で規定されており，協会規格に準拠した製品であればその扁平性能（外圧に対する抵抗性）は確保されているものとみなせるので，協会規格に適合することを確認する。 なお，農林基準や水道指針に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条［解説]、及び、29、33、38条
1.5 外圧に対してどの程度たわむのか。	環片圧 （扁平性）試験	（該当する規定はない）	（該当する検討事項はない）	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	(同上)	同上	同上	同上	基準案⇒ 第18条［解説]、及び、29、33、38条
1.6 クリープに関する特性はどの程度か。	クリープ試験	(同上)	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	熱間内圧クリープ試験(ISO 1167)で所定時間内に割れ，その他欠点なし(j)。	同左	同左	JIS K 6761は最小要求強さ（MRS）（20°Cで50年間，管が破壊しない一定応力値）を基本とした規定であり，JIS K 6741に準拠していればクリープ特性を含んだ強度を確保できる。従って，JIS K 6761に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS K 6761に規定される内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第14条［解説]

(a)　；　JIS K 6761　4.材料　4.3 性能　6.3 引張試験　a) コンパウンド
(b)　；　JIS K 6761　6.3 引張試験　b) 管
(c)　；　JIS K 6761；1998　5 性能　9.3 引張試験
(d)　；　日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　2.3.1 水道配水用ポリエチレン管　表2.3.1性能　(P15)
(e)　；　M社、K社 基本物性
(f)　；　農林水産省構造改善局　土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」(平成10年3月)　9.4.4 とう性管の管種選定　(3)内圧から求める管厚計算式　b.硬質塩化ビニル管およびポリエチレン管（P288)
(g)　；　日本水道協会　水道施設設計指針(平成12年3月)　7.5 配水管　7.5.2 管種 [参考-1]管厚計算式　4.水道配水用ポリエチレン管管厚計算式（P462)
(h)　；　JIS K 6761；1998　5 性能　9.4 耐圧試験
(i)　；　日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.2 へん平水圧試験(P110)
(j)　；　JIS K 6761　5.管　5.3 性能

表Ⅳ-2.9　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP（M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
		JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	(確認方法等)								
1.7 充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向 水密限界試験	(同上)	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	協会規格として，水密状況ではないものの，管軸方向引張試験を実施し，降伏点のひずみが8～11%程度であることを確認(k)。また，軸方向圧縮試験を実施し，降伏点のひずみが約10%であることを確認(l)。 したがって，協会規格に準拠していれば一定の強度を確保しているものと考えられ，基本的には問題はない。ただし,特に管軸方向の強度について検討する場合には，この試験結果を参考とし，協会規格に準拠していることを確認するものとする。 なお，必要に応じて，協会規格に準じた試験の実施を要求する。	
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	(該当する規定はない)	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C,T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	(該当する規定はない)	「EF融着した状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点があってはならない」と規定(m)。	協会規格に準拠することが基本 バット融着部を含む水圧試験の結果，水道基準の規格値を上回る耐圧性(水密性)を確認(n)。	内圧強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。 協会規格に準拠した製品であれば継手部の耐圧性及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(該当する規定はない)	(同上)	EF融着接合部の近傍を50%偏平させた状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(o)。	協会規格に準拠することが基本 バット融着部を含む引張試験，水圧試験，熱間クリープ試験の結果から，接続部（バット融着）が管本体と同等以上の機械的強度をもつことを確認(p)。	協会規格に準拠した製品であれば外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの水密性を確保できるとみなせるため，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	(同上)	EF融着接合部の管同士の迎角が45°になるように供試管を固定した状態で，水圧2.5MPaを加え，2分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(q)。	同上	管の許容曲げ半径を考慮した上で曲線状に付設する場合には，協会規格に適合することを確認する。 なお，管径に応じた許容曲げ半径を確認するとともに，必要に応じて，各管径に応じた設定角度における曲げ水圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第24条，39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	(該当する検討事項はない)	(同上)	(同上)	EF融着接合部の強度を確認するため，降伏点に達するまで引張った結果，接合部より先に管本体が降伏することを確認。接合部の強度が管本体以上であることを確認(r)。	同上	1.7に記述するとおり,基本的には問題はない。ただし,特に継手部に引張力が作用する場合は，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(該当する規定はない)	許容応力の算定に際し，ジョイントファクターとして，短期荷重に対して0.9，長期荷重に対して0.8を考慮(s)。	『農林基準』や『水道指針』では継手効率を規定していない。 一方，メーカーとしては，安全率を考慮する要因ごとに各種の効率を設定して安全率を積み上げている。 設計に際しては，事業者と協議した上で，安全率（継手効率）の設定方法を確認する必要がある。	基準案⇒ 第13条，18条 [基本的に設計で対応する]
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	接合部を含む供試管を浅層埋設し，0～10tの繰返荷重を150万回載荷した結果から，繰返し荷重によって生じる50年後の残留ひずみは許容ひずみに比べて小さいことを確認（t）。	協会規格に準拠することが基本	基本的には問題はない。特に，管本体及び継手部に繰返し荷重が作用する場合は，協会規格に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条

(k) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.1 管軸方向引張試験(P119)
(l) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.2 管軸方向圧縮試験(P120)
(m) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　2.3.2 水道配水用ポリエチレン管継手　表2.3.4性能　(P18)
(n) ；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　4.6 接続部の信頼性に関する照明　(2) 水圧試験　(P35)
(o) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.2 へん平試験(P110)
(p) ；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書」　4.6 接続部の信頼性に関する照明　(P33～39)
(q) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.3 曲げ水圧試験(P111)
(r) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.1.1 引張試験(P109)
(s) ；M社　技術資料
(t) ；(財)道路保全技術センター　「道路占用埋設物件の浅層化技術検討　報告書」　平成10年11月　Ⅱ浅層化による埋設管路に及ぼす影響　2.疲労限界状態の照査

表IV-2.9　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注；　”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書(*1)	FRPM管 技術基準(*2)	ポリエチレン管 JIS K 6761(2004)	ポリエチレン管 協会規格(*3)	ポリエチレン管 メーカー基準(*4)	ポリエチレン管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
2　継手性能	（確認方法等）								
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は基本的に本体と同じ素材であるため，6.1，6.2に準じた対応とする。	基準案⇒ 第8条，22条，24条
3　疲労特性	（確認方法等）								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧疲労試験	（該当する規定はない）	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	外圧疲労については，2.6に同じ。 内圧疲労については，管軸方向繰返試験（管軸方向の繰返し引張り応力の発生）によっても管体破壊などの異常がないことを確認(u)。	協会規格（性能）に準拠することが基本	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。また，協会規格における浅層埋設繰返し試験や管軸方向繰返し引張試験の結果から判断して，疲労に対しての安全性は問題ないものと考えられる。	
3.2 管（供試片)の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	
4　耐衝撃性	（確認方法等）								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	（該当する規定はない）	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	落錘試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(v)。	落錘試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(w)。	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	（確認方法等）								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	（該当する規定はない）	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	大学との共同研究の結果，ポリ管の耐摩耗性が鋼管やFRPより優れていることを確認(x)。	農林基準や水道指針においては磨耗に関する規定がない。 メーカーによる試験結果を見ても，ポリ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，促進摩耗試験等の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2　同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	（該当する規定はない）	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3　同上	実流管路による耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(u) ；日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　4.3.3 管軸方向繰り返し伸縮試験(P121)
(v) ；日本水道協会　水道配水用ポリエチレン管・継手に関する調査報告書（平成10年9月）　2.5 c) 重錘で窪みをつけた管の耐圧性(P61)
(w) ；M社　A町上水施設向け衝撃試験　試験報告書
(x) ；(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査証明（下水道技術）　報告書」　付属資料4,5 (広島大学報告書　ポリエチレン管の耐摩耗性)

表IV-2.9　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

［ 注；"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書[*1]	FRPM管 技術基準[*2]	ポリエチレン管 JIS K 6761(2004)	ポリエチレン管 協会規格[*3]	ポリエチレン管 メーカー基準[*4]	ポリエチレン管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
6　耐候性	（確認方法等）								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	（該当する規定はない）	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	紫外線による劣化防止のため，カーボンブラックの濃度を2.0～2.5%に規定[y]。 直接的な試験に関する規定はない。	（該当する規定はない）	露出管については，カーボン濃度試験により評価。カーボン濃度を基準値内に制御。	露出管とする場合でも，カーボンブラックの濃度を適切に管理することで適用可能。従って,JISに準じていることを確認する。 しかし，農政基準や水道指針では埋設を前提としているため，屋外で使用する場合は何らかの紫外線対策を施す事が望ましい。	基準案⇒ 第22条
6.2　同上	暴露試験	（同上）	①3年の暴露試験で強度変化なし	（該当する規定はない）		（同上）			
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	（同上）	（該当する検討事項はない）	火山地帯で見られる酸性水，コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	（該当する規定はない）	酸やアルカリに強い材質であることが確認されている[z]。	同左[aa]	協会をはじめとした既往資料により，酸・アルカリ性の薬品が使用可能なことが明確にされている。従って，基本的に問題はない。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品の流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　温度特性	（確認方法等）								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	（該当する規定はない）	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	（該当する規定はない）	低温であっても異常がないことを確認[ab]。	凍結時の管破裂についても危険性が低いことを確認[ac]。	低温であっても特性が低下することはなく，凍結時の管破裂についても危険性は低い。したがって，寒冷地での採用についても管としては問題にならないが，凍結を防止するためには地中埋設などを検討する必要がある。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	（同上）	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	（同上）	（同上）	0～40℃での使用を前提としている[ad]。	協会基準に準じる	通常温度（40℃以下）での使用を基本とする。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐火性試験	（同上）	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	（同上）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については基本的に問題がない。	[基本的に設計で対応する]
8　物理定数									
8.1 弾性係数		（該当する規定値はない）	①設計に用いる諸数値として明記。	（数値の明記はない）	（該当する規定はない）	物性値として，「引張弾性率834MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113，20℃）[ae]	基本的に協会基準に準じる。	協会資料等に規定される値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比		（同上）	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	（同上）	（同上）	物性値として，「ポアソン比0.37」と記載（試験方法：JIS K 7161，15℃））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）		（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「比重0.95」と記載（試験方法：JIS K 7112，水中置換））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数		（同上）	同上	（同上）	（同上）	物性値として，「線膨張率11×10-5℃-1」と記載（試験方法：JIS K 7197））[ae]	同上	同上	基準案⇒ 第14条

(y) ； JIS K 6761　4.材料　4.3 性能　及び　5.管　5.3 性能
(z) ； 日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　1.5 耐食性（耐薬品性）　(P9)
(aa) ； (財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管（M社）　建設技術審査照明（下水道技術）　報告書 4.2 耐薬品性に関する審査証明　(P15)
(ab) ； 日本水道協会　水道配水用ポリエチレン管・継手に関する調査報告書（平成10年9月）　2.3 3) 低温時の施工性　表2.3.1　低温時における熱間内圧クリープ試験結果(P24)
(ac) ； M社　凍結試験報告書
(ad) ； 日本水道協会規格　水道配水用ポリエチレン管及び管継手　設計マニュアル　3.2 使用範囲　(P63)
(ae) ； 配水用ポリエチレン管協会　配水用ポリエチレン管技術資料　8-8 配水用ポリエチレン管の諸性能(P96)

表IV-2.9 要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（ポリエチレン管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：水道配水用ポリエチレン管及び管継手設計マニュアル（水道配水用ポリエチレンパイプシステム研究会），他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合あり。

[注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

管材料 / 要求性能等	FRPM管			ポリエチレン管				備　考
	JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6761(2004)	協会規格(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は内外面が滑らかで使用上師匠となる傷・われなどの欠点がないこと，形状は実用的にまっすぐで，かつ，正円とみなせ，両端面は管軸に対して直角であること，を目視によって確認する(af)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS基準に準拠することが基本	JIS 6761に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会規格に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，マイクロメータ(JIS B 7502)，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する(af)。	(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている(ag)。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	(同上)	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	(同上)	(同上)		充水試験と同様に，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている(ah)。	基準案⇒ 第61条

(af) ； JIS K 6761　7.2 受渡し検査
(ag) ； [農林基準]　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　(P445)
(ah) ； [農林基準]　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　(P447)

表IV-2.10　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注；　"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
		JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6780	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
1　材料特性	(確認方法等)								
1.1 管（供試片)の圧縮強度はどの程度なのか。	圧縮試験(供試片)	（該当する規定はない）	①フープ層・カット層の圧縮強度が一定値以上であることを確認。 ②円周方向及び管軸方向の供試片の圧縮強度を確認	FRP強度層の圧縮試験を行うものとしている。ただし，あらかじめ試験結果が得られている場合は省略可能。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	通常の設計（管種・管厚の決定）において，圧縮強度が問題となることはない。部材の圧縮強度に関係する検討事項として，外圧等によるたわみが問題となるが，たわみに関する安全性は1.4（基準たわみ外圧試験）によって確認できる。従って，通常の設計においては，部材の圧縮強度を規程する必要はない。 なお，部材の圧縮強度に影響するような特別な荷重が作用する場合は個別に対応する。	基準案⇒ 第14条
1.2 管（供試片)の引張強度はどの程度なのか。	引張試験	(同上)	①破断強度及び弾性率の特性値を確認 ②引張強度及び弾性係数を確認	同上	JIS K 7161の引張降伏応力が27Mpa以上と規定[a]。	引張降伏応力が23Mpa以上と規定[b]。	協会基準に準拠することが基本	内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において，最も基本となる強度である。協会基準に準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，協会基準に適合することを確認する。	基準案⇒ 第14条
1.3 管本体の内圧強度はどの程度なのか。	内圧試験 (耐圧試験)	内圧 (0.5～2.6Mpa)を加えて3分間圧力を保持し，漏れがないことを確認。	②破壊内圧及び破壊歪，及び漏水・異常のないことを確認。	管種に関する解説において，JISに準じた各種別の試験内圧(0.5～2.6MPa)を例示。また，製作(工場)における試験として，設計内圧の1.3倍の試験内圧で3分間保持し，漏水等の異常がないことを確認する。	（該当する規定はない）	4K管（設計水圧0.4MPa）に対し，0.8MPaの内圧負荷で漏水がないこと，5K管（設計水圧1.0MPa）に対し，0.5MPaの内圧負荷で漏水がないこと、を確認[b]。	ゴム輪継手部を含む試験結果として，0.2MPa（$2kgf/cm^2$）の内圧負荷で3分間放置し、欠陥、破損、その他欠点が無いことを確認[c]。 また，ＥＦ継手部に対する管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認[d]。	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。協会基準に準拠した製品であれば一定の強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，協会基準に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会基準に準じた継手部耐圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第3条［解説］(7)
1.4 外圧に対して，管本体はどの程度の強度（たわみ）を持つのか。	基準たわみ 外圧試験	外圧試験において基準たわみ量に達したときの荷重が基準たわみ外圧値以上。	②たわみ率5%時の荷重及びたわみ量とガラス繊維含有量を測定。その結果から管の剛性，弾性係数を計算し，ガラス含有量との関係を把握。	座屈強度として，反力係数等を係数とした計算式を提示。また，製作(工場)における試験として，基準たわみ量に対応する荷重が所定の値以上であることを確認する。	たわみ試験（管軸垂直方向載荷試験）において，5% 相当のたわみに対応するたわみ荷重が基準値以上であることを確認する[e]。	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	1.5の扁平性とともにJIS規格で規定されており，JIS規格に準拠した製品であればその外圧に対する抵抗性は確保されているものとみなせるので，JIS規格に適合することを確認する。 なお，農林基準や日本水道協会　水道施設設計指針（以下，"水道指針"と略す）に準拠して，許容たわみ率が5%（設計たわみ率3%)以内になるように管厚を決定することを基本とする。	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.5 外圧に対して，管本体はどの程度たわむのか。	環片圧 （扁平性）試験	（該当する規定はない）	（該当する検討事項はない）	許容たわみ率及び設計たわみ率を規定	管軸方向扁平試験において，呼び径の50%まで圧縮（扁平）させ，圧縮降伏応力に達しないことを確認する[f]。	同上	同上	同上	基準案⇒ 第18条［解説］、及び、29、33、38条
1.6 クリープに関する特性はどの程度なのか。	クリープ試験	(同上)	①長期区クリープによる歪変化率1.5以下を確認 ②クリープに対する安全率1.5の確認	本文中には特に規定されていないが，補足資料としてクリープ特性について解説。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	JIS K 6780に準拠した管に対し，ISO9080にて規定される外挿法（熱間内圧クリープ試験）により50年後の強度9.69MPaを計算[g]。	メーカーの試験結果から，協会基準に準拠する製品のクリープ特性を含んだ強度が確認できる。従って，クリープ特性を考慮した検討を行う際には,メーカーの基準に適合することを確認する。 なお，必要に応じて，JIS，ISO等で規定される熱間内圧クリープ試験またはそれに準じる試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第14条［解説］
1.7 充水時における管本体の軸方向引張強度及び圧縮強度はどの程度か	軸管方向 水密限界試験	(同上)	①水密状態における供試管の管軸方向の引張水密限界及び圧縮水密限界を確認。	（該当する規定はない）	（同上）	（同上）	（該当する規定はない）	ゴム輪継手の場合、管路の伸縮はゴム輪受け口部で吸収されるため管に引張力は作用しない。 融着(溶接)継手の場合は，継手部引張試験（継手部軸方向任意切出し供試片による試験）結果(h)から，管本体に比べて継手部の強度が高いことが確認されている。したがって，1.2に示す引張試験の結果から引張降伏強度23MPa以上が期待され，水圧作用を考慮しても特に問題はないものと考えられる。 なお，特定の引張応力が作用する場合は，別途強度を確認するための試験の実施を要求する。	

(a)　；JIS K 6780　5 性能　10.1 引張試験
(b)　；高耐圧ポリエチレン管協会　内圧用高耐圧ポリエチレン管　製品概要書　3-7.性能　(P8)
(c)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部水密試験
(d)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　管内空気圧試験
(e)　；JIS K 6780　5 性能　10.2 たわみ試験
(f)　；JIS K 6780　5 性能　10.3 偏平試験
(g)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　熱間内圧クリープ試験
(h)　；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　継手部断面引張試験

表Ⅳ-2.10　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP（M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	耐圧ポリエチレンリブ管 JIS K 6780	耐圧ポリエチレンリブ管 協会基準(*3)	耐圧ポリエチレンリブ管 メーカー基準(*4)	耐圧ポリエチレンリブ管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	（該当する規定はない）	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	（該当する規定はない）	融着(溶接)継手の4K管（設計水圧0.4MPa）に対し，0.8MPaの内圧負荷で漏水がないこと，5K管（設計水圧0.5MPa）に対し，1.0MPaの内圧負荷で漏水がないこと、を確認(i)。	ゴム輪継手部を含む試験結果として，0.2MPa（2kgf/cm2）の内圧負荷で3分間放置し、欠陥、破損、その他欠点が無いことを確認(j)。 また，ＥＦ継手部に対する管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認(k)。 さらに，継手部断面引張試験の結果から，継手部の強度が本管以上であることを確認(l)。	引張強度と同様に，内圧管としての設計（管種・管厚の決定）において基本となる強度である。 メーカー基準に準拠した製品であれば継手部の強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，メーカー基準に準拠していることを確認する。 なお，必要に応じて，協会基準に準じた継手部耐圧試験の実施を要求する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	(同上)	（該当する規定はない）	ゴム輪継手部の挿口部近傍を5%偏平させた状態で，水圧0.2MPaを加え，3分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認(m)。 また，ＥＦ継手部に対する扁平後管内空気圧試験（0.15MPaの空気圧負荷）で5分間放置し漏水のないことを確認(n)。	メーカー基準に準拠した製品であれば，外圧等によって管が変形した（たわみ）ときの強度及び水密性は確保されているものとみなせるので，メーカー基準に準拠していることを確認する。 なお，水密性については農林基準に準じて施工時に確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手部の角度が3度となるように継手した状態で，水圧0.2MPaを加え，3分間保持し，漏れその他欠点がないことを確認（j）。	基本的に，継手を曲げた状態で管を付設することはないが，可とう性継手としての性能を確保するため，メーカー基準に適合することを確認する。 なお，規格異形管にない小角度の曲線設置を直管の可とう継手部で行う場合には，継手の許容曲げ角度を確認する。 ＥＦ継手の場合，継手部強度等は本管部以上となるが，曲線配置を計画する場合は許容曲げ半径を確認する。	基準案⇒ 第24条，39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	（該当する検討事項はない）	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	1.7に同じ	基準案⇒ 第24条
2.5 溶接・融着とする場合，継手部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手の場合は基本的に継手効率を考えなくて良い。 『農林基準』や『水道指針』でも継手効率を規定していない。 融着(溶接)継手の設計に際しては，事業者と協議した上で，安全率（継手効率）の設定方法を確認する必要がある。	基準案⇒ 第13条，18条 [融着(溶接)継手に関しては設計で対応]
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	ゴム輪継手の場合、継手部の疲労（繰返荷重）はゴムによって吸収されるものと考えられる。 融着(溶接)継手の場合は，管本体に比べて継手部の強度が高いことが確認されている。したがって，疲労についても本管と同程度以上の機能・性能が確保されるものと考えられる。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部自体は基本的に本体と同じ素材であるため，6.1及び6.2に準じた対応とする。 ゴム輪継手の場合は，ゴム輪についてJIS K 6741においてJIS K 6353に準じた材料の使用が規程されているため，JIS K 6741及びJIS K 6353に適合することを確認する。なお，ゴム輪自体についてもオゾンや紫外線によって劣化するため，適切な対応が必要となる。	基準案⇒ 第8，22条，24条

(i) ； 高耐圧ポリエチレン管協会　内圧用高耐圧ポリエチレン管　製品概要書　3-7.性能　（P8）
(j) ； D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部水密試験
(k) ； D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　管内空気圧試験
(l) ； D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　継手部断面引張試験
(m) ； D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管（ゴム輪継手）　継手部扁平水密試験
(n) ； D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　融着(溶接)継手　物性試験報告書　扁平後管内空気圧試験

表IV-2.10　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3）
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

[注；"基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
		JIS A 5350	技術検討書(*1)	技術基準(*2)	JIS K 6780	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
3　疲労特性	(確認方法等)								
3.1 内圧や外圧の繰返し負荷に対し，強度は低下しないか。	内圧，外圧疲労試験	（該当する規定はない）	①内圧繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。 ②内圧及び外圧の繰返し載荷試験の結果から，実用上問題のないことを確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	供試片に対する疲労試験（シャンク式疲労試験）結果では，107回の繰返荷重に耐えうる応力（14MPa）を確認（o）。	農林基準や水道基準において管体の疲労特性に関する規定はない。 また，(財)道路保全技術センターにおける浅層埋設繰返し試験(p)では，塩ビ管やポリエチレン管について試験が行われ，疲労に対しての安全性は問題ないものと評価された。従って,リブ管についても基本的には問題ないものと考えられる。 なお，特定の繰返応力が作用する場合は，メーカーによる試験結果を参考に設計するか，別途強度を確認するための試験の実施を要求する。	
3.2 管（供試片)の疲労による破壊は問題ないか。	シェンク式疲労試験	(同上)	①供試片に対する繰返し載荷試験により，水圧脈動等による疲労に対して十分に安全であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	
4　耐衝撃性	(確認方法等)								
4.1 落石等により衝撃が作用した場合，どの程度まで耐えられるのか。	落石(落錐)試験	（該当する規定はない）	①管径（管厚）と落下高を変えて落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高4m(重さ10kg)で，衝撃部の供試片の曲げ強度が初期強度の80%となったことを確認。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	落石（落錘）試験が実施され，衝撃の程度についての検討結果が確認されている(p)。	土中埋設形式を基本とする場合は，落石（落錘）試験は不要である。 露出形式では，衝撃の程度が不確定のため，必要に応じて衝撃が直接加わらないように何らかの防護処置を行う。	[基本的に設計で対応する]
4.2 内圧負荷時に衝撃が加わった場合，どの程度まで耐えられるのか	水圧負荷時衝撃試験	(同上)	①管径（管厚）と落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。 ②落下高を変えて内圧負荷時落石試験を実施し，管体損傷の程度を確認した。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
4.3 管（供試片)はどの程度の衝撃に耐えられるのか。	シャルピー衝撃試験	(同上)	②鋼材(SM 41)と同程度のシャルピー衝撃値であることを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	[基本的に設計で対応する]
5　耐摩耗性	(確認方法等)								
5.1 土砂などに対する摩耗は問題ないのか。	促進摩耗試験	（該当する規定はない）	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。 ②同上。	摩耗に対する考慮の項で，珪砂を含む流水による摩耗率測定の結果，FRPと普通鋼(SS400)の摩耗率が同程度であることを解説している。	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	砂混入水による長時間循環試験により管の摩耗量を測定。塩ビ管と同程度の耐摩耗性であることを確認(q)。	農政基準や水道指針においては,摩耗に関する規定がない。 メーカーによる試験結果を考慮しても，リブ管に対する摩耗については基本的に問題ないものと考えられる。 なお，特に摩耗が懸念される場合などについては，促進摩耗試験等の実施を要求する。	基準案⇒ 第11条、23条
5.2 同上	長期摩耗試験	(同上)	②試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管及び無塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	（該当する規定はない）	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	同上	基準案⇒ 第11条、23条
5.3 同上	実流管路による耐摩耗試験	(同上)	①試験結果より，ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ塗装鋼管より耐摩耗性が高いことを確認。	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	同上	基準案⇒ 第11条、23条

(o) ；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　疲労試験
(p) ；D社　内圧用高耐圧ポリエチレン管　耐衝撃試験
(q) ；(財) 土木研究センター　「D社　高耐圧ポリエチレン管」 技術審査証明報告書　3.2 耐摩耗性

表IV-2.10　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書[*1]	FRPM管 技術基準[*2]	耐圧ポリエチレンリブ管 JIS K 6780	耐圧ポリエチレンリブ管 協会基準[*3]	耐圧ポリエチレンリブ管 メーカー基準[*4]	耐圧ポリエチレンリブ管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
6　**耐候性**	(確認方法等)								
6.1 紫外線等による劣化は心配ないのか	ｳｪｻﾞｰ・ﾒｰﾀｰ試験	(該当する規定はない)	①6000時間(60年相当)で強度的劣化なし ②2000時間(20年相当)で劣化なし	露出配管の場合の紫外線等に対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	耐候性試験（屋外暴露試験またはウェザー・メーター試験）により，引張破断伸びが350%以上[r]。	JIS規格に準拠することが基本。	JIS規格に準拠することが基本。 使用材料にカーボンブラックが添加されていて,紫外線による劣化を防ぐ[s]。	一般的には埋設とするため問題はない。ただし，露出配管を考えた場合は,JIS規格に準じることを基本とし，カーボンブラックを添加する。その濃度（混入量）については，ポリエチレン管に対する値（JIS K 6761)を基本とする。	**問題なし**
6.2　同上	暴露試験	(同上)	①3年の暴露試験で強度変化なし	(該当する規定はない)					**問題なし**
6.3 酸性水やアルカリ性水等の使用に対しても問題はないのか	耐薬品性	(同上)	(該当する検討事項はない)	火山地帯で見られる酸性水,コンクリート巻立の場合のアルカリ性水などに対し，著しい劣化が発生しないように配慮しなくてはならないと規定。	耐薬品性試験により，各試験液とも質量変化度は±0.2mg/cm^2 [t]	(同上)	JIS規格に準拠することが基本。 酸やアルカリに強い材質であることが確認されている[u]。	リブ管は高密度ポリエチレン樹脂を原材料としているため，一般的に耐薬品性に優れている。また，JIS規格に準じていれば，一定の耐薬品性が確保されている。従って,基本的に問題はない。 なお，高濃度の酸性薬品や有機薬品が流下する場合や，埋設地中にそれらが存在する場合は，採用に対して十分注意（状況に応じては採用不可）する必要がある。	基準案⇒ 第22条
7　**温度特性**	(確認方法等)								
7.1 低温での適用について問題はないか	低温特性	(該当する規定はない)	①液化天然ガス(LNG)に対する研究結果より，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。 ②既往研究結果をもとに，寒冷地における露出管としての使用が十分に可能と評価。	本文中には特に規定されていないが，補足資料として温度特性（FRPの強度は高温側で低く，低温側で高くなる傾向を示す）について解説。	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	高密度ポリエチレンのガラス転移点は-20℃，脆化温度は-50℃であり，一般的に寒冷地においても問題を生じることはない。しかし，凍結を防止するため，寒冷地では埋設を基本とする。	寒冷地では，凍結深度以下に埋設する [基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.2 高温での適用について問題はないか	高温特性	(同上)	①原材料であるポリエステルの熱変形温度が75～80℃であるため，使用時温度が30℃前後であれば問題なしと評価。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	常温での使用を前提としている。	高密度ポリエチレンの融点は110～140℃とされ，この温度以上で結晶はなくなり、溶融状態となる。使用環境温度は一般的には40～60℃以下の温度であれば問題ない。 なお，高温に関する配慮が必要な場合には，高温でも対応可能な管種を選択するなど，適切に対応する必要がある。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第22条
7.3 火災などが発生した場合にどうなるか。	耐火性試験	(同上)	①炎により表面が着火しても，炎を遠ざけると自消火し，30～40分の比較的短い時間ではダメージの無いことを確認。	(該当する規定はない)	(同上)	(同上)	(同上)	農林基準や水道指針のように，基本的に埋設するのであれば，耐火性については問題がない。	[基本的に設計で対応する]
8　**物理定数**									
8.1 弾性係数		(該当する規定値はない)	①設計に用いる諸数値として明記。	(数値の明記はない)	(該当する規定はない)	(該当する規定はない)	物性値として，「引張弾性率1，274～1,666MPa」と記載（試験方法：JIS K 7113, 15℃）[v]	メーカー基準値を用いる。	基準案⇒ 第14条
8.2 ポアソン比		(同上)	①設計に用いる諸数値として明記。 ②同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「ポアソン比0.3～0.48」と記載（試験方法：JIS K 7161, 15℃）[v]	同上	基準案⇒ 第14条
8.3 比重（密度）		(同上)	同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「密度0.95～0.97」と記載（試験方法：JIS K 6760）[v]	同上	基準案⇒ 第14条
8.4 線膨張係数		(同上)	同上	(同上)	(同上)	(同上)	物性値として，「線膨張率11～13×10-5℃-1」と記載（試験方法：ASTM D696）[v]	同上	基準案⇒ 第14条

(r) ； JIS K 6780　5 性能　10.7 耐候性試験
(s) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　1.特性
(t) ； JIS K 6780　5 性能　10.6 耐薬品性試験
(u) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　4.耐薬品性
(v) ； D社 高耐圧ポリエチレン管　技術資料　3.材料特性

表Ⅳ-2.10　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（耐圧ポリエチレンリブ管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：高耐圧ポリエチレン管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例です。メーカーによって異なる場合もある。基本的に協会基準に準じた機能・性能を確保している。

［ 注； ”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。 ］

管材料 / 要求性能等	FRPM管			耐圧ポリエチレンリブ管				備　考
	JIS A 5350	技術検討書 (*1)	技術基準 (*2)	JIS K 6780	協会基準(*3)	メーカー基準(*4)	水圧管路への適用における評価・対応	
9　形状検査								
9.1 外観検査	全数において，有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	①全数において，目視により有害な傷の有無，内面の平滑性を確認する ②全数について，JIS及び協会基準に準じた検査を行う。	全数において，目視により有害な傷がなく，内面は滑らかでなければならない。	管の外観は使用上有害な傷・われなどの欠点がなく，内面が滑らかであること，形状は内側断面が実用的に正円であること，を目視によって確認する(w)。	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	（特に規定はない，JIS基準に準じる）	JIS 6780に準拠する。	基準案⇒ 第55条
9.2 形状検査	全数において規定の形状を確認する。		全数についてJISに規定される内径，外形，管厚の寸法及び許容差を満足することを確認する。		(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
9.3 寸法検査	1組の管から抜きとった2本の供試管について，寸法及び許容差を満足する。	①全数について，JIS及び協会基準に準じた検査を行う。 ②同上		管の寸法は，ノギス(JIS B 7507)，又はこれらと同等以上の精度を持つものを用いて測定し，規定される許容差を満足していることを確認する(w)。	(同上)	同上	同上	基準案⇒ 第55条
10　据付後試験								
10.1 充水試験	（該当する規定値はない）	①据付け完了後，継手に対して静水圧により水密検査を行う。 ②同上	据付け完了後充水し，静水圧による水密検査を行う。	（該当する規定値はない）	（該当する規定値はない）	必要に応じて通水試験(静水圧作用時，動水圧作用時)を実施。	事業体により基準が異なるため，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，漏水試験として，継手部施工後，埋め戻しを行う前に「継目（水密）試験」を実施することが望ましい，としている。さらに，埋め戻しを含めた管付設完了後の水張り試験の実施を定義づけている(x)。	基準案⇒ 第59条
10.2 運転試験	(同上)	①据付け完了後，水圧上昇，振動等を含む運転試験時の水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。 ②同上	据付け完了後，負荷遮断を含む運転試験により水圧管全体の異常の有無を検査し，安全の確認を行う。	(同上)	(同上)		充水試験と同様に，基本的には発注もとの仕様に準じて現場試験を実施する。 農林基準では，重要なパイプラインでは設計水圧（動水圧を含む）による水圧試験の実施が望ましいとしている(y)。	基準案⇒ 第61条

(w) ； JIS K 6780　7 形状及び寸法，8 外観
(x) ； [農林基準]　12.3.2 漏水試験　(1) 継目試験　（P445）
(y) ； [農林基準]　12.3.2 漏水試験　(2) 水張り試験　（P447）

表IV-2.11　要求性能を満足するための技術的根拠（必要試験）の整理（プレストレストコンクリート管）

(*1)：①水圧鉄管代替製品FRPM管等技術検討結果報告書，新エネルギー財団(Ⅰ類＝FW管編，S60.1)，②同（Ⅱ類＝CC管編，S62.3)
(*2)：水門鉄管技術基準，FRP (M)水圧管編，水門鉄管協会(H9.1)
(*3)：PC管協会資料，他を参照
(*4)：メーカー基準は一例。メーカーによって異なる場合もある。

[注；”基準案⇒"は一般市販管水圧管路技術基準（案）の関連条項を示す。]

要求性能等	管材料	FRPM管 JIS A 5350	FRPM管 技術検討書 (*1)	FRPM管 技術基準 (*2)	プレストレストコンクリート管（PC管） JIS A 5373	PC管 協会規格(*3)	PC管 メーカー基準(*4)	PC管 水圧管路への適用における評価・対応	備　考
2　継手性能	(確認方法等)								
2.1 継手部の強度，水密性に問題はないか。	継手部 耐圧試験	（該当する規定はない）	②1.3に示す内圧試験において，継手を含む供試管により試験を実施しており，管本体より継手部のほうが強く，かつ漏水等もないことを確認している。	継手の設計として，管本体と同等の強度，水密性を持つことを規定している。また，C，T，B，D型など，JIS A 5350に準じた継手方式に準拠することを規定。なお，水密性，疲労，劣化等に対して十分な検討を行った場合は他の継手形式も使用可能。	内圧強度試験（1種管で1.8MPaの試験内圧を付加）において漏水がない(a)。	JIS基準に準拠することが基本	JIS基準に準拠することが基本	継手部耐圧性能に関しては，製品の内圧試験と同時にＪＩＳ規定値（内圧）を満足していることを確認している。従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.2 継手部に偏圧が作用した場合，どの程度まで耐えられるか。	継手部 偏平水圧試験	(同上)	①挿口部への偏心載荷試験により，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	（該当する規定はない）	規定のひび割れ荷重を加えたときに，ひび割れが発生しない(b)。	(同上)	(同上)	ＰＣ管は剛性管（不撓性管）であるため，実用上撓みは考慮せず，性能規定としての外圧強度が確保されれば良い。 従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条
2.3 曲げ配管とした場合，水密性問題はないか	継手部 曲げ水圧試験	(同上)	①継手部を曲げた状態で内圧を負荷し，水密性に関して異常のないことを確認。 ②同上	(同上)	（該当する規定はない）	（該当する規定はない）	管種・管径毎の最大曲げ角度を提示(c)	メーカーで実施したJIS規格管に対する試験データ(d)が公開されているが，水圧作用下での偏心載荷，曲げに対して規格上十分の性能がある。従って，JISに準拠した製品であればその強度は確保されているものとみなせるので，必要に応じてJIS A 5373に適合することを確認する。	基準案⇒ 第24条、39条
2.4 継手部に引張力が作用する場合，どの程度まで対応可能か。	継手部引張試験	(同上)	（該当する検討事項はない）	(同上)	(同上)	(同上)	（該当する規定はない）	通常のゴム輪継手では，管軸方向の引張力を考慮しないため，継手部の引張強度が問題となることはない。 なお，継手の中心保持性を高める目的で装着する押輪継手は，継手部の引抜き抵抗も増大させる。その効果は，押輪継手を装着させない場合に比べて2.5～3.5倍程度になる。	[基本的に設計で対応する]
2.5 溶接・融着とする場合，接合部の強度低下はあるのか。	継手効率	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	通常のゴム輪継手では，継ぎ手効率が問題となることはない。	基準案⇒ 第13条
2.6 継手部に繰返し荷重が作用した場合，強度的に問題があるか。	継手部 水圧疲労試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	継手部の疲労(繰返荷重)はゴムによって吸収されるため，基本的に問題はない。	基準案⇒ 第24条
2.7 継手部の耐候性に問題はないか。	継手部 耐候性試験	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	(同上)	PC管自体は問題ない。ゴム輪についてはJIS K6353に規定する水道用ゴムの圧力管仕様に拠っているが，露出配管の場合はオゾンクラック等のゴム劣化を防ぐため，継手部の充填処理などを考慮する。	[基本的に設計で対応する] 基準案⇒ 第8条、22条、24条

(a) ； JIS A 5373　5.性能　5.2 性能　及び　付属書4 3.1内圧強度 6.1 内圧強度試験
(b) ； JIS A 5373　5.性能　5.2 性能　及び　付属書4 3.2外圧強度 6.2 外圧強度試験
(c) ； M社　製品説明書　6継手の抜出し量と曲げ角度（P19）
(d) ； M社　継手曲げ試験結果

表Ⅳ-2.12　塩ビ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	水道用塩ビ管規定値	水道協会基準に準拠	
1.2	引張強度	JIS K 6741	JISに準拠	
1.3	内圧強度	JIS K 6741	JISに準拠	
1.4,1.5	扁平性	JIS K 6741	JISに準拠	
1.6	クリープ特性	JIS K 6741	JISに準拠	
1.7	軸方向強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	JIS K 6741	JISに準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	農業用塩ビ管	農業用塩ビ管の基準に準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	農業用塩ビ管	農業用塩ビ管の基準に準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.5	継手効率	-----	問題なし	接着継手は対象外
2.6	継手部疲労強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で振動(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.7	継手部耐候性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	JIS K 6741	JISに準拠	通常温度(45℃程度）以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とする。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	水道用塩ビ管規定値	水道協会基準に準拠	
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6741	JISに準拠	
10. 据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

⇩

① 水道用塩ビ管は、大きさ（呼び径）が異なるが、品質・機能としては基本的にJIS K 6741に同等。
　⇒　JIS規格品であれば，上表中の水道用塩ビ管の品質・機能を確保している。
② 農業用塩ビ管は、品質・機能ともにJIS K 6741に同等。
　⇒　JIS規格品であれば，上表中の農業用塩ビ管の品質・機能を確保している。
③ 下水道用塩ビ管は、継手の水密性が若干異なるが、管自体の品質・機能は基本的にJIS K 6741に同等。
　⇒　JIS規格品であれば，上表中の下水道用塩ビ管の品質・機能を確保している。

⇩

◎ 耐衝撃性、耐候性（紫外線）、温度特性（低温、耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 据え付け後検査については、FRPMに準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、物理定数、形状検査などは、JIS K 6741に準拠すれば問題ない

⇩

[結論]　JIS K 6741に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路として塩ビ管を用いることに問題はない。

表Ⅳ-2.13　ポリ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	-----	検討対象としない	
1.2	引張強度	JIS K 6761	JISに準拠	旧規格の試験強度は協会基準と同程度
1.3	内圧強度	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
1.4,1.5	扁平性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
1.6	クリープ特性	JIS K 6761	JISに準拠	水道協会基準とJISは試験条件がほぼ同じ
1.7	軸方向強度	-----	問題ない	
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題ない	
2.5	継手効率	-----	設計で対応	
2.6	継手部疲労強度	-----	問題ない	（参考）　水道用ポリ管試験結果
2.7	継手部耐候性	JIS K 6761	JISに準拠	JISではカーボン濃度を規定。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	（参考）　水道用ポリ管試験結果
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	（参考）　水道用ポリ管試験結果
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	（参考）　3.1の水道用ポリ管試験結果
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	（参考）　広島大学試験結果
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	JIS K 6761	JISに準拠	JISではカーボン濃度を規定。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	問題なし	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	-----	問題なし	通常温度(40℃程度）以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とし、露出する場合は適切に対応する。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	水道用ポリ管	水道協会基準に準拠	
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6761	JISに準拠	
10．据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

⇓

① JIS K 6761規格品の耐候性（カーボン濃度）以外の品質・機能は、水道協会規格品に準用されている。
　⇒　水道協会規格品であれば，上表中のJISで規定されている品質・機能（耐候性を除く）を確保している。

⇓

◎ 耐衝撃性、温度特性（耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 露出配管とする場合の耐候性（紫外線）については，JIS K 6741の基準に準じたカーボン濃度であることを確認する。
◎ 据え付け後検査については、FRPMに準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、物理定数、形状検査などは、水道協会基準に準拠すれば問題ない

⇓

［結論］　水道協会基準に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてポリ管を用いることに問題はない。

表IV-2.14　リブ管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
1．材料特性				
1.1	圧縮強度	-----	検討対象としない	
1.2	引張強度	内圧用リブ管	高耐圧ポリエチレン協会基準に準拠	
1.3	内圧強度	内圧用リブ管	高耐圧ポリエチレン協会基準に準拠	
1.4,1.5	扁平性	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
1.6	クリープ特性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
1.7	軸方向強度	-----	問題ない	
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
2.2	継手部偏圧水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	同上
2.3	継手部曲げ水密性	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	同上
2.4	継手部引張強度	-----	問題ない	
2.5	継手効率（ゴム輪）	-----	問題ない	
2.5	継手効率（EF継手）	-----	設計で対応	
2.6	継手部疲労強度	-----	問題ない	
2.7	継手部耐候性	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
3．疲労特性				
3.1	外圧疲労強度	-----	問題なし	
3.1	内圧疲労強度	-----	問題なし	
3.2	管(材料＝供試片)の疲労強度	-----	問題なし	
4．耐衝撃性				
4.1,4.2	耐衝撃性	-----	設計で対応	基本的に衝撃が作用しないように設計する
4.3	管(材料＝供試片)の耐衝撃強度	-----	設計で対応	同上
5．耐摩耗性				
5.1～3	耐摩耗性	-----	問題なし	
6．耐候性				
6.1,6.2	耐紫外線	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとなっている。
6.3	耐薬品性	-----	問題なし	同上
7．温度特性				
7.1	低温特性	-----	問題なし	埋設を基本とする。
7.2	高温特性	-----	問題なし	通常温度(40℃程度）以下であれば問題ない。
7.3	耐燃性	-----	設計で対応	埋設を基本とし、露出する場合は適切に対応する。
8.物理定数				
8.1～4	物理定数	メーカー基準品	メーカー基準に準拠	協会に基準はないが,メーカー基準が準用される
9.形状検査				
9.1～3	外観・形状・寸法検査	JIS K 6780	JISに準拠	協会に基準はないが,JIS基準に準じたものとする。
10. 据付後検査				
10.1、10.2	充水・運転試験	-----	FRPM管に準じて実施	農林基準が参考となる

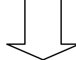
① JIS K 6780規格品の引張強度及び内圧強度以外の品質・機能は，内圧用リブ管に準用されている。
⇒　高耐圧ポリエチレン協会規格品（内圧リブ管）であれば，上表中のJISで規定されている品質・機能（張強度及び内圧強度を除く）を確保している。
② メーカー基準の品質・機能は，高耐圧ポリエチレン協会基準に準用されている。
⇒　高耐圧ポリエチレン協会規格品（内圧リブ管）であれば，上表中のメーカー基準品の品質・機能を確保している。

◎ 耐衝撃性、温度特性（耐燃性）については、埋設を基本にするなど適切に設計する。
◎ 露出配管とする場合の耐候性（紫外線）については，JIS K 6741の基準に準じたカーボン濃度であることを確認する。
◎ 据え付け後検査については、FRPMに準じて適切に実施する。
◎ その他、材料特性、継手性能、耐候性、物理定数、形状検査などは、高耐圧ポリエチレン協会の基準に準拠すれば問題ない。

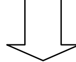
[結論]　高耐圧ポリエチレン管協会の基準に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてリブ管を用いることに問題はない。

表IV-2.15　PC管を水圧管路へ適用する場合の評価・対応

		確認規格・基準等	評価・対応	備考
2．継手性能				
2.1	継手部水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.2	継手部偏圧水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.3	継手部曲げ水密性	JIS A 5373	JISに準拠	
2.4	継手部引張強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で力(変位)を吸収
2.5	継手効率	-----	問題なし	接着継手は対象外
2.6	継手部疲労強度	-----	問題なし	ゴム輪受け口部で振動(変位)を吸収、接着継手は対象外
2.7	継手部耐候性	-----	問題なし	埋設を基本とする。



◎ 継手性能については、JIS A 5373に準拠すれば問題ない



[結論]　JIS A 5373に準拠した製品を用い、適切に設計することで、水力発電所の水圧管路としてPC管を用いることに問題はない。

２．２．３　管種の選択

簡易発電システムの水圧管路として採用する管種の選定にあたっては,経済性に加えて，各対象地点の特性や施工性，維持管理のほか，各管の特性を総合的に検討して決定されなければならない。

【解説】

簡易発電システムの水圧管路として採用する管種の選定にあたっては,経済性に加えて,対象地点の特性に合わせて，管路の設置方法や露出配管の有無，周辺の制約条件や施工期間，維持管理の容易性などのほか，耐候性（耐紫外線）や粗度係数，継手方法に応じた柔軟性(地盤追従性)などを総合的に検討して決定されなければならない。

一般市販管の経済性と粗度係数の管径については巻末資料を参照するものとする。

２．２．４　設計・施工・管理

簡易発電システムの水圧管路として一般市販管を採用する際には，その管の性能と機能を十分に把握したうえ，対象地点の諸条件に合わせて,適正な設計・施工・管理が必要となる。

【解説】

簡易発電システムの水圧管路は，想定される荷重に対して安全であること,振動,座屈および腐食に対して安全であること，危険な漏水がないことなどの安全性を確保しなければならない。

従って,対象地点の諸条件に合わせて,適正な設計・施工・管理が必要となる。そのためには，当面は巻末資料に添付する「一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子」を参考にするものとする。

２．３　発電所基礎・建屋

２．３．１　法的要件等

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋は,比較的規模が小さいことからそれぞれの機能の簡素化・省略等によりコストダウンを図ることになるが,それぞれの法的要件等に準拠していなければならない。

【解説】

簡易発電システムにおける発電所基礎･建屋の検討に際しては,以下に示すそれぞれの法的要件に準拠していなければならない。

（１）発電所基礎

水力発電所の設計に際し，基本となる基準は『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』（以下，単に“ 省令 ”）と略す）第 35 条である。

省令 35 条および同 35 条に関連する｢技術基準の解釈　第 42 条｣を以下に示す。

【省令】

（地下発電所等のコンクリート構造物の施設）

第 35 条　水車及び発電機を収容する施設であって, 地下に施設するものは，次の各号によらなければならない。

一　地下発電所等に使用するコンクリートの材料は, 第 10 条各号によること。

二　地下発電所は，自重，水圧，地震力及び土圧若しくは地圧に対し，安定であり，かつ，これらの荷重によりコンクリート構造物の部分に生じる応力及びこれらの荷重のうち，地震力以外の荷重により当該部分に生じる応力は，使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

上記は，地下発電所等のコンクリート構造物が備えなければならない事項について規定したものである。地下発電所には，全地下式の発電所だけでなく，水車のみ地下に設置する場合の地下部分を含むものである。

【省令第 35 条に対応する】
（技術基準の解釈　第 42 条　地下発電所等の許容応力）
　省令第 35 条第二項に規定する許容応力とは, コンクリートを使用する場合にあっては, 省令第 13 条第 1 項第三号の技術基準の解釈第 6 条を準用する。

ここで, 省令第 13 条第 1 項第三号の技術基準の解釈第 6 条に規定されるコンクリートの許容応力度は, 『コンクリート標準示方書』(2002 土木学会)と同値であり，標準的な値を規定している。

また，発電所の基礎に求められる構造については『中小水力発電ガイドブック』（新エネルギー財団　水力本部）に以下のような記述がある。

　発電所基礎は，水圧鉄管，水車，発電機を支持するとともに，吸出し管を固定させ，上部の荷重に耐え，かつ主機の振動に対し十分耐震的な構造でなければならない。

一般的な水力発電所の基礎の設計においては，建屋及び水車・発電機などの全ての上載荷重，地震荷重，水車・発電機の定格運転時の動的荷重や単相短絡時における動的荷重等が考慮されている。

一般的に横軸発電機から基礎に作用する力は，停止時，定格運転時，単相短絡時および地震時のそれぞれの状態において，その方向（垂直，水平および水平直角方向）と大きさが異なったものとなる。また，その値の変動の傾向は，発電機の固定位置（Ⅰ～Ⅳ）によっても異なっている。さらに，各位置，各方向の作用力は，一般に地震時または単相短絡時において最大値を示すため，一概に地震時だけの検証では不十分となる。

従って，発電所基礎の設計に際しては，水車および発電機の型式・配置から決定される作用力を的確に把握し，水車および発電機の荷重に耐える構造であることを，それぞれの荷重条件に応じて確認しなければならない。

なお，水車および発電機の型式・配置から決定される作用力については，一般に水車及び発電機を基礎に固定する際のアンカーボルトの計算用に提示されるものを流用することができる。

（２）発電所建屋

発電所建屋の縮小・省略等の合理化を検討する場合でも，以下の法的要件を考慮しなければならない。

電気設備に関する技術基準を定める省令では，以下の点に配慮する必要がある。

1) 電気設備の接地

電気設備の必要な箇所には，異常時の電位上昇，高電圧の進入等による感電，火災その他人体に危険を及ぼし，又は物件への損傷を与える恐れがないよう，接地のその他の適切な措置を講じなければならない（以下略）。

（電気設備に関する技術基準を定める省令　第 10 条）

2) 電気設備の接地の方法

電気設備に接地を施す場合は，電流が安全かつ確実に大地に通じることができるようにしなければならない。

（電気設備に関する技術基準を定める省令　第 11 条）

3) 発電所への取扱者以外の者の立入りの防止

高圧または特別高圧の電気機械器具，母線等を施設する発電所又は変電所，開閉所もしくはこれらに準じる場所には，取扱者以外の者に電気機械器具，母線等が危険である旨を表示するとともに，当該者が容易に構内に立入る恐れがないように適切な処置を講じなければならない。

（電気設備に関する技術基準を定める省令　第 23 条）

上記の省令第 23 条については，次のような解釈が定められている。

4) 発電所への取扱者以外の者の立入りの防止

高圧または特別高圧の電気機械器具，母線等を施設する発電所又は変電所，開閉所もしくはこれらに準じる場所には，次の各号により構内に取扱者以外の者が立入らないように施設すること。

ただし，土地の状況により人が立入る恐れがない箇所については，この限りではない。

一　さく，へい等を設けること。

二　出入口に立入りを禁止する旨を表示すること。

三　出入口に施錠装置その他適切な装置を施設すること。

（電気設備に関する技術基準の解釈について　第 43 条）

また，民間規程である「発変電規程」では，以下の点に配慮する必要がある。

5) さく，へい等の設置

発変電所において高圧または特別高圧の機械器具，母線等を施設する場合には，その構内に取扱者以外のものが立入らないよう，また，外部から人が容易に充電部分に近づかないようにさく,へい等を設け,かつ，その出入口に立入りを禁止する表示をするとともに，施錠装置その他適当な装置を施設しなければならない。ただし，土地の状況により人が立入る恐れがない箇所については，この限りではない。

（発変電規程　第１－５条）

6) 照明設備

発変電所には，監視，操作及び日常の点検手入れなどを安全，かつ，確実に行うため，必要な照明設備を施設しなければならない。

（発変電規程　第５－18 条）

7) 巡視通路における保護さく等

日常巡視点検時の巡視通路及び点検位置が高圧又は特別高圧の露出充電部分に接近する場合には，取扱者が容易に露出充電部分に触れないよう，保護さく又は保護網を施設しなければならない。

（発変電規程　第５－19 条）

8) 小動物侵入防止設備の施設

発変電所等の屋内電気設備及び 100kV 以下の屋外電気設備で，小動物により事故発生のおそれがある場合は，適当な設備を施設しなければならない。

（発変電規程　第５－21 条）

上記の法的要件や民間規程に加えて，以下の事項についても注意を払う必要がある。

1) 構造的な対応

発電所建屋を省略する場合，降雨・降雪及び落石等に対する適切な対応が必要である。

2) 使用環境への対応

発電所建屋を省略する場合，紫外線による材料の劣化や直射日光による温度変化などに対する適切な対応が必要である。

3) 施工・点検時への対応

発電所建屋を省略する場合，天井クレーン等が存在しないため，発電機器類の設置，点検時等への適切な対応が必要である。

２．３．２　発電所基礎・建屋の形式

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋は，それぞれの法的要件等と使用環境を考慮し,適切な形式（省略を含む）を選定する。

【解説】

平成 16 年度に実施したモニタリング調査の結果から,発電所基礎や建屋に関して様々な形式が見られた。それらの事例では,構造上、機能上、安全上の不具合等は確認されず、基本的に以下に示す法的要件を満足しているものと考えられる。

① 『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』
⇒　主に、構造上（強度)、機能(確保)上の規定

② 『電気設備に関する技術基準を定める省令』
⇒　主に、構造上（強度)、機能(確保)上、安全上の規定

③ 『発変電規定』
⇒　主に、安全上、維持管理上の規定

また、使用環境面では以下のような事項に対応しているものと考えられる。

1）降雨・降雪、落石等への対応
2）紫外線による劣化、直射日光による温度変化への対応
3）発電機器類の設置、点検時等への対応

以上の対応等を考慮して、簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の形式選定例を表Ⅳ-2.13 に整理した。また，簡易発電システムに対応する発電所基礎・建屋の事例を表Ⅳ-2.14 に示す。

表IV-2.13　簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の形式の選定例

項目	条件	形式	対応例等※
発電所基礎	基本的な基礎形式	直接基礎	一般的
	比較的規模が大きく、かつ、支持地盤が深い場合	ケーソン基礎	発電所としては特異なケース
	同上	くい基礎	中～大規模発電所
水車（・発電機）基礎	一般的水車	コンクリート（＋形鋼）	例えば、A,B,E
	小規模水車（マイクロフランシス、他）	形鋼	農政、工場内小規模発電設備など
	ゲートバルブ水車	ゲート等での支持	例えば、D
	投込み水車等	省略	例えば、C
建屋	一般的な形式	天上クレーン省略（梁やフックのみ設置、など）	例えば、A,B
	トラッククレーン等で対応可能な場合	合理化建屋（屋根取り外し可能）	例えば、G,L,
	小規模施設	簡易型建屋	例えば、E,H,I
	屋外対応可能な場合	建屋省略	例えば、C,D,F
	その他	既設建物利用	例えば、Q

※；A～Qは、モニタリング調査地点を示す。

表IV-2.53　簡易発電システムに対応する発電所基礎・建屋の事例

[発電所基礎]

・直接基礎

[水車･発電所基礎]

・コンクリート（+形鋼）

・ゲート等による支持

[建屋の合理化]

天上クレーンの省略

開閉式の天上

梁のみが設置されている

小規模施設（簡易型建屋）

・小規模施設（制御盤への対応）

・建屋の省略

２．４　コストダウンの要素

２．４．１　各施設の要素技術適合性

> 簡易発電システムにおける土木設備に対しては，各適用施設に対する要素技術の適合性を考慮したうえ，適切にコストダウンを図るものとする。

【解説】

簡易発電システムの土木設備におけるコストダウンを図るためには，各適用施設に対する要素技術の適合性を的確に把握する必要がある。

そのため，適用施設別の地形及び流況の特性を考慮し，各要素技術の適合性について把握する必要がある。表Ⅳ-15 はその一例である。

この表は，簡易発電システムとして小水力発電所を計画する場合の指標となるが，実際の計画立案に際しては，当該計画発電所の状況や諸条件を考慮し，経済性や保守管理を含めて総合的に評価する必要がある。そのうえで，適切な設備を選定し，コストダウンを図ることになる。

表Ⅳ-2.15　適用施設別の各要素技術の適合性[土木設備]

設　備		農業用水利施設			砂　防	発　電	上･工業用水利施設		下水道
		ダム	取水堰	水路	ダム	ダム	取水堰	水路	水利施設
取水施設	浸透水	×	○	○	○	×	○	○	○
	越流水付着	×	×	○	○	×	×	×	○
	集水井	×	○	×	○	×	○	○	×
	水クッション	×	○	×	○	×	○	○	×
	横取り	○	○	×	○	○	○	○	×
	バースクリーン	○	○	○	○	○	○	○	○
	堤体穴あけ	○	○	×	○	○	○	○	×
	ゲートバルブ	○	○	×	×	○	○	○	×
	嵩上げ	×	×	×	×	×	×	×	×
	水路落差工	×	×	○	×	×	×	×	○
	既設管分岐	○	×	×	×	○	○	×	×
	サイフォン	○	○	○	○	○	○	○	○
水圧管路	硬質塩化ビニル管	○	○	○	×	○	○	○	○
	ポリエチレン管	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐圧ポリエチレンリブ管	×	○	○	○	×	○	○	○
	ヒューム管	×	○	○	○	×	○	○	○
発電所	基礎合理化	○	○	○	○	○	○	○	○
	建屋省略	○	○	○	○	○	○	○	○

[○;適合性が高い，×;適合性が低い]

２．４．２　コストダウンの要素

簡易発電システムにおける土木設備では，各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素を整理して,その可能性を検討する。

【解説】

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンを図るため，前項で整理した各適用施設に対する要素技術の適合性に加え,各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素について整理し,その要素によるコストダウンの可能性について検討するものとする。

各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素を，表Ⅳ-2.16 に整理した。なお，この表は，各施設の一般的な条件に対して整理したものなので，実際の計画立案に際しては，当該計画発電所の状況や諸条件を考慮し，適正に評価する必要がある。

表Ⅳ-2.16 適用施設別のコストダウンの要素の例

適用施設		条件	コストダウン可能な要素
農業用水利施設	ダム	ダム自体の利用	沈砂池、ヘッドタンク、余水吐の省略
		流量変動が小さい場合	水圧管路の径の最小化
		既設利水放流管が利用可能な場合	水圧管路の短縮
			分岐管方式の取水形式の採用
	取水堰	堰自体の利用	ヘッドタンク、余水吐の省略
		流量変動が小さい場合	水圧管路の径の最小化
		土砂流入が少ない場合	沈砂池の省略
		越流水付着、水クッション取水の場合	沈砂池、除塵施設、余水吐の省略
		既設ゲートへの負荷が可能な場合	ゲートバルブやサイフォンの採用
	落差工	落差工(水路)自体の利用	沈砂池、ヘッドタンクの省略
		流量変動が小さい場合	水圧管路の径の最小化
		水路内への水車設置が可能	水圧管路の省略
			水車基礎の合理化・省略
	急流工	急流工(水路)自体の利用	沈砂池、ヘッドタンクの省略
		流量変動が小さい場合	水圧管路の径の最小化
砂防ダム・砂防堰堤		取水量の変動が小さい場合	水圧管路の径の最小化
		浸透水、越流水付着、水クッション取水の場合	沈砂池、除塵施設、余水吐の省略
発電用ダム・堰		[農業用水利施設のダムまたは取水堰に同じ]	
上・工水利施設	ダム・堰	[農業用水利施設のダムまたは取水堰に同じ]	
	落差工・急流工	処理後の流水を利用する場合	除塵施設の省略
		[その他、農業用水利施設の落差工・急流工に同じ]	
下水道施設	放水口・放水路	下水道施設自体の利用	除塵施設の省略
		[その他、農業用水利施設の落差工・急流工に同じ]	
各施設共通		水圧管路に対して	一般市販管の採用
		発電所基礎	直接基礎方式の採用
		発電所建屋	簡略化、省略

２．４．３　各要素技術によるコストダウン

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンは，各要素技術に必要とされる機能と性能を考慮したうえ，トータルコストの低減を目的に実施する。

【解説】

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンを図るためには，各要素技術に必要とされる機能と性能を考慮し，イニシャルコストとランニングコストを十分に評価したうえ,最終的にはトータルコストの低減を目的に実施しなければならない。

（１）取水施設によるコストダウン

簡易発電システムにおける取水施設においては,“ 少ない水を,如何にして効率よく取水するか ”ということが命題となる。また，既往のマイクロ水力の事例調査からもわかるように，小水力発電におけるトラブル発生の原因は，取水口部に対する塵芥の流入・閉塞によるものが多い。従って，取水口についてはイニシャルコストのみでなく，ランニングコストについても十分に検討する必要がある。

a イニシャルコスト

イニシャルコストを低減させるためには，自然河川を含め，できるだけ手をかけないで取水を可能とすることである。具体的には河川の自然な淵を利用する横取り方式などが有利となる。この方法は農業用，上工水，下水道の水路から取水を行う場合においても効果的である。さらに，既設管分岐方式は取水部自体が水圧管路の一部であり，取水口自体が既存施設の利用とも評価できるので，大きなコスト低減が可能となる。

また，浸透水取水や集水井方式などは，沈砂池やスクリーンなどを省略できるという面で有利であるが,単位面積あたりの取水量が小さいため,相応の施工面積が必要となる。

その他,サイフォン取水方式はダムなどの既存施設の改造を不要とするため,例えば堤体穴あけ取水やバースクリーン方式に比較して，構造的にもコスト的にも有利になる可能性がある。しかし,真空ポンプが必要になるため,イニシャルコストに加え,機械設備に関するメンテナンスが必要となる。

イニシャルコストについては，当該取水地点の地形や地質,流況，取水量，管理条件などを総合的に評価して選定しなければならない。

b ランニングコスト

取水施設に係るランニングコストとしては，主に取水口の塵芥処理（取水口スクリーンにおける除塵）や取水口に流入した土砂の処理にかかる費用が大き

なものとしてあげられる。簡易発電システムは，発電電力量が小さいので運転保守に掛けるコストはできるだけ低く抑えたい。このため，可能な限り塵芥処理などのランニングコストを低減させなければならない。

そのような面から，浸透水取水方式や集水井方式，既設管分岐取水方式などが有利になるが,馬頭まりの問題や単位面積あたりの取水量が小さいことなど,問題もある。また，イニシャルコストはかかるが，除塵機の設置が効果的な場合もある。

ランニングコストについても，当該発電所の現場状況によって対策方法が異なってくるため，その費用についても随時，適切に判断する必要がある。

c トータルコスト

取水施設にかかるトータルコストは，当該発電所取水地点の地形・地質，既設構造物の規模，取水量，流況，管理条件などによって大きく変動する。従って，計画段階においては，現場状況と各取水方式の機能を十分に整理検討し，全体工事費，維持管理条件などを把握して，総合的な評価のもとに取水方式を決定する必要がある。

（２）水圧管路によるコストダウン

簡易発電システムにおける水圧管路においては，基本的に一般市販管の採用によるコストダウンが基本となるが，管自体の費用（資材費）のほかに，管の重量や継手の形式から評価される施工性，粗度係数の違いによる管径の選択，塗装などに要するメンテナンス費用などを，総合的に評価しなければならない。

a イニシャルコスト

イニシャルコストとしては，管の資材費と布設費のほか，管の選定において粗度係数の違いによる必要管径の相違や，各管の対応管径，対応内圧を考慮する必要がある。

一般に，塩ビ管は，資材費が比較的安く,軽いこととゴム輪継手であることから施工性も良い。しかも，ある程度の内圧まで耐えられるが，適用管径が比較的小さく，紫外線に対しても何らかの防護が必要となる。

ポリ管は,資材費が高いものの，管が一体化されるため,ある程度自由な曲線配置が可能となり，曲管などが不要となることから総合的には経済的になる場合もある。しかも，ある程度の内圧まで耐えられるが，融着継手になるためゴム輪に比べれば施工性が若干低く,適用管径も比較的小さい。

リブ管のゴム輪継手の場合は，資材費が比較的低く適応管径も大きく継手の

施工性も良いが,対応内圧は低い。リブ管の融着継手では，ポリ管と同様に，資材費が比較的高いものの,管が一体化されるため,ある程度自由な曲線配置が可能となり，曲管などが不要となることから，総合的には経済的になる場合もある。しかも，適用管径も比較的大きいが，融着継手になるためゴム輪に比べれば施工性が若干低く，ポリ管に比べて適応内圧は比較的小さくなる。

PC 管については重量が重いことから施工性に劣るが,資材費が比較的安いため,重機が入りやすい条件においては有利になる可能性がある。適用管径はおおきいものの，適応内圧は比較的小さい。

その他,塩ビ管,ポリ管,リブ管は粗度係数が比較的低いため,同程度の有効落差を確保するためには,鋼管や FRPM に比べて管径を細く設定することが可能となる。また，曲り管については，各管によって費用が異なるため,その有無（数）によって全体資材費が大きく増加する場合がある。

さらに,各管の施工性は,重機の入りやすさや曲線区間の多さなどの現場条件にも左右され,

以上のように,水圧管路のイニシャルコストは様々な要因により左右されるため,現場の状況と各管の特性を考慮して，適切に評価する必要がある。

b ランニングコスト

水圧管路に関するランニングコストとしては,一般には鋼管の場合の塗装が考えられるが,一般市販管を使用する場合には塗装は無用である。

一般市販管を常用している水道や農業分野では基本的のメンテナンスフリーであり，比較的安定した利用となる水力発電においても，基本的にメンテナンススリーとして問題ない。

従って，ランニングコストとしては，定期的な点検など管理面にかかる費用を考慮するものとする。

なお,ゴム輪継手の管を露出配管とするような場合については,ゴム輪やシール材の交換などが必要になる可能性がある。

c トータルコスト

水圧管路にかかるトータルコストは，当該配管地点の地形・地質，対象流量，対象内圧，施工制約条件，管理条件などによって大きく変動する。従って，計画段階においては，現場状況と設計条件,各管の機能を十分に整理検討し，全体工事費，維持管理条件などを把握して，総合的な評価のもとに採用管種を決定する必要がある。

（3）**発電所基礎･建屋**

発電所基礎･建屋については,ランニングコストにかかる費用は比較的小さいため,イニシャルコストの低減が基本となる。

発電所の基礎に関しては,電気機械の形式･配置から決定される荷重を考慮し,安定して支持する必要がある。そこで，適正な安定計算を実施し，必要十分な基礎の大きさ（適正規模）を決定することにより，基礎のプレキャスト化や水車発電機との一体化により，施工面での工期短縮，コストダウンが可能になると考えられる。

一方，発電所の建屋については，保安や使用環境を考慮したうえでその省略について検討し，その際には水車・発電機などの電気設備を露出型にすることによる費用増分を適切に把握して，総合的に評価する必要がある。

また，建屋に付随するクレーン等については，施工時及びメンテナンス時における対応（簡易な門型クレーンの設置やトラッククレーンの採用など）を検討しておく必要がある。

第３章　電気機器

第３章　電気機器

簡易発電システムを構成する主要機器は，水車，発電機及び制御・保護装置であり，基本的に通常の水力発電所に設置される電気機械設備と何ら変わるところはない。ただし，これら機器は簡易発電システム全体に占める価格比率も大きく，簡易発電システムの構築にあたっては，そのコストダウンに向けた機器簡素化，付属設備省略，汎用製品の採用等を考慮し，かつ，信頼性低減に繋がらない検討を行う必要がある。

【解説】

コストダウンに向けた機器簡素化，付属装置省略，汎用製品の採用等を考慮する中で，関係法令を遵守する観点から，水車に関しては「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈」，発電機及び制御・保護装置に関しては「電気設備に関する技術基準を定める省令，解釈」，系統連系に関しては，指針として制定されている「系統連系技術要件ガイドライン」等に抵触しないことを確認する必要がある。

ここでは水車，発電機及び制御・保護装置のそれぞれについて，その開発動向調査結果，簡易発電システムへの適用における課題，技術検討結果について説明し，その中で関係法令との関連についても触れる。ここで，開発動向調査では，代表的な機器製作者のラインナップ製品を比較し，簡易発電システムへの適用の可能性を探る。

水車では，簡易発電システムへ適用可能な水車形式として，代表的な横軸フランシス水車等のほか構造が簡易な投げ込み式水車を追加調査し，また，部分負荷効率の改善による運転範囲の拡大と変流量対応を可能とする可動羽根プロペラ水車，コストダウンを考慮した新型水車としてサイフォン式タービン，直交軸流型水車，簡易型クロスフロー水車の開発動向を調査した。

また，技術検討では適用施設別に水車形式を再整理し，形式別の課題及び解決策を検討した。更に，コストダウンに向けた入口弁，GV 等の省略の可能性について，関係法令を確認しながら，その特質を纏めた。

発電機では，簡易発電システムへ適用が期待できる永久磁石発電機（PMG）について開発動向を調査した。また，技術検討では発電機形式別の課題を整理し，各発電機形式毎に発電機効率を示しながら，その特質を検討した。PMG ではインバータ（INV）との組合せになることから，INV の開発動向と運転制御方式，簡易発電システムへの適用における課題について検討した。

制御・保護装置では，一般産業用 PLC（Programmable Logic Controller）及び簡易制御・保護装置の基本仕様について開発動向を調査した。また，適用施設別及び関係法令から求められる制御・保護装置区分，系統連系における単独運転検出装置の課題及び対策について検討した。更に，簡易監視方法については，モバイル技術による方法を調査した。

以下，機器毎に開発動向調査，技術検討結果の詳細について説明する。

３．１　水車

簡易発電システムにおいては，小水力資源を有効に活用し，十分な年間発生電力量を得るため，その地点の流量・落差・水位変動等に応じた最適な水車形式を選定しなければならない。

【解説】

小水力資源を有効に活用し，十分な年間発生電力量を得るためには，その地点に応じた最適な水車形式の選定が重要である。一般的に，水車形式は地点特性の落差・流量及びその変動範囲と価格等を考慮して最適なものを選定する。簡易発電システムにおいても基本的な考え方は同じであり, 単にイニシャルコストダウン等の要求に応じて水車性能を無視した水車を選定すると，発生電力量の増加とはならず，結果的に経済性を確保できない可能性があるため，十分な検討が必要になる。

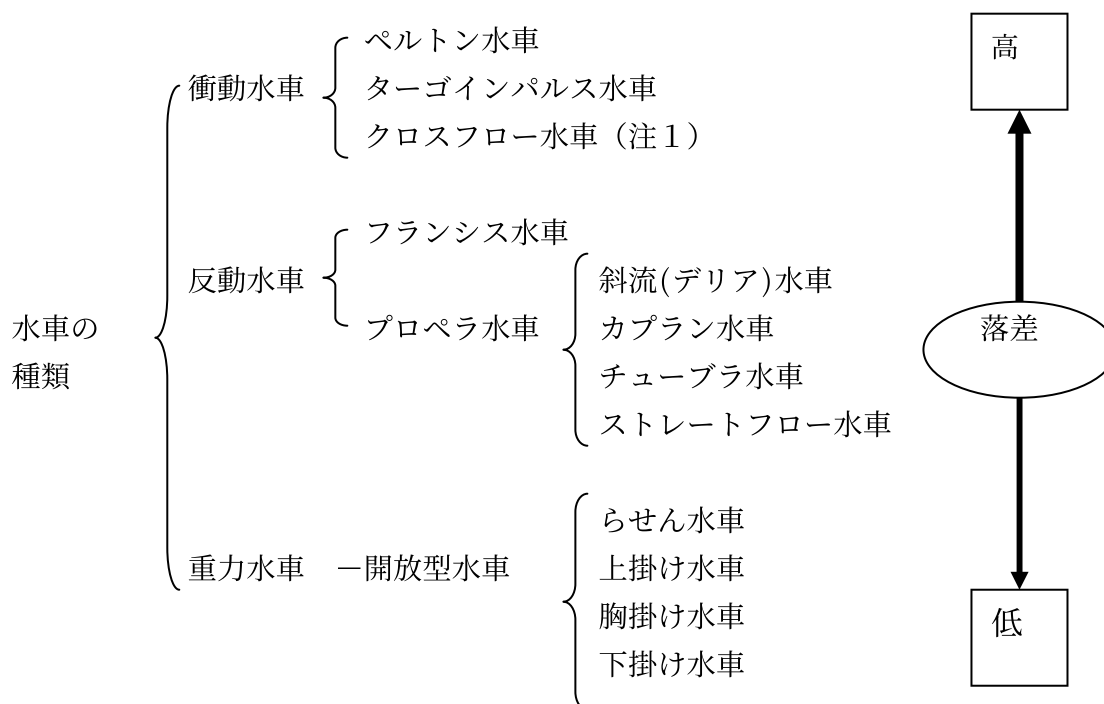
また，施設場所，メンテナンス，ランニングコスト，発電機や制御・保護装置との協調も考慮する必要がある。基本的に水車形式は発電機形式に影響しないが，その連結方法については, 直結式とするかギヤまたはベルト駆動方式により増速または減速するのかの検討が必要である。なお，制御・保護方式については，取水設備での流量調整機能を有するのか，水車本体での可動羽根制御が必要であるのか等，水車形式選定に影響を受ける。

３．１．１　水車の種類

> 水車は，落差や流量に対応して様々な種類が開発されている。

【解説】

図Ⅳ-3.1 に水車の種類を示す。



注１；クロスフロー水車を衝動水車に分類していますが、反動水車特性を併せ待ちます。

図Ⅳ-3.1 水車の種類

３．１．２水車形式

> 簡易発電システムへ適用可能な水車形式を表Ⅳ-3.1 に示す。

【解説】

簡易発電システムへ適用可能な水車形式とその概略仕様を表Ⅳ-3.1 に示す。

表Ⅳ-3.1　簡易発電システム適用可能水車の種類と概略仕様(1／2)

種　類	概略図	構造概要	適用範囲	変落差特性	変流量特性	備　考
反動水車						
①横軸ﾌﾗﾝｼｽ水車(小水力用)		流水がﾗﾝﾅの周辺から流入し，ﾗﾝﾅ内において軸方向に向きを変えて流出するもの。	出力：50～4,000kW 落差：10.0～300.0m 流量：0.3～10.0m^3/s	落差変化に対しては，効率低下が少ない。	軽負荷になると効率低下が大きくなる傾向にある。	流量を調整するｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝを設ける必要があり，構造が複雑。
②横軸固定羽根ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車 (発電機流水路外設置)		円筒ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一種であり，水車上に発電機を搭載(流水路外)し，水車回転部と発電機とはﾍﾞﾙﾄで直結されているもの。	出力：1～300kW 落差：2.0～20.0m 流量：0.07～3.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	従来のﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車を簡素化し，低落差，小流量領域でも対応可能としたもの。
③横軸固定羽根ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車 (発電機流水路内設置)		円筒ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一種であり，水車軸に発電機を直結(流水路内)したもの。	出力：3～100kW 落差：3.0～150.0m 流量：0.01～1.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ,ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	従来のﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車を簡素化し，低落差，小流量領域でも対応可能としたもの。
④ﾎﾟﾝﾌﾟ逆転水車		標準立軸(横軸)ﾎﾟﾝﾌﾟを逆転させて使用。ﾗﾝﾅ固定用ﾈｼﾞを標準ﾎﾟﾝﾌﾟに対し逆に切る必要がある。流入方向がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と比較して反転するため，ﾗﾝﾅ形状がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と逆になる。	出力：1～200kW 落差：6.0～80.0m 流量：0.02～1.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝを有せず，一定流量のみ。最高効率が80%未満と低い。	ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ特性が厳しく，羽根形状の修正が必要。軸受や封水部の寿命が短い。無効速度対策が必要。
⑤水中タービン		水中ﾎﾟﾝﾌﾟを逆転させて使用。ﾗﾝﾅ固定用ﾈｼﾞを標準ﾎﾟﾝﾌﾟに対し逆に切る必要がある。流入方向がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と比較して反転するため，ﾗﾝﾅ形状がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と逆になる。	出力：10～500kW 落差：2.8～20.0m 流量：0.4～10.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	一般的には固定羽根であり，軽負荷時に効率が低下する傾向にある。	発電機が直結され，ｺﾝﾊﾟｸﾄ化が可能。流量を調整するｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝがなく，補機類の省略が可能。水中型のため，軸受や封水部の寿命が短い。無効速度対策が必要。
⑥サイフォン式水車		堰の上流側に水車を設置し、ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞで堰を越して放流する構造。起動時は発電機を電動機、水車をﾎﾟﾝﾌﾟとして起動し、ｻｲﾌｫﾝ効果の発生による自然流下にて発電を開始する。停止時は空気を注入しｻｲﾌｫﾝ効果を喪失させる。	出力：0.7～50kW 落差：1.5～6.0m 流量：0.15～1.4.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下するが、発電機極数切替の仕様も可能である。	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ,ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	既存の堰をそのまま流用して設置できる。真空ﾎﾟﾝﾌﾟや入口弁が不要であり、システムの簡素化ができる。

表IV-3.1　簡易発電システム適用可能水車の種類と概略仕様(2／2)

種　類	概略図	構造概要	適用範囲	変落差特性	変流量特性	備　考
衝動水車						
⑦ｸﾛｽﾌﾛｰ水車		衝動水車および反動水車の特性を併せ持ち，流水が円筒形ﾗﾝﾅに軸と直角方向に流入し，ﾗﾝﾅを貫通して流出するもの。	出力：10～1,000kW 落差：5.0～200.0m 流量：0.1～8.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	軽負荷特性良好。一般に15%程度の負荷でも運転可能。	構造が簡単。
⑧ﾀｰｺﾞｲﾝﾊﾟﾙｽ水車		ｼﾞｪｯﾄ流をﾗﾝﾅの側面から入射させるので，ﾋﾟｯﾁ円が小さくなり，回転速度を高くできる点がﾍﾟﾙﾄﾝ水車と異なる。	出力：100～8,000kW 落差：25.0～300.0m 流量：0.2～8.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する傾向にある。	軽負荷特性良好。一般に15%程度の負荷でも運転可能。2ﾉｽﾞﾙ方式の場合，流量に応じてﾉｽﾞﾙ数切換。	構造が簡単
⑨ﾍﾟﾙﾄﾝ水車(小水力用)		ﾉｽﾞﾙから流出するｼﾞｪｯﾄをﾗﾝﾅ周辺ﾊﾞｹｯﾄに作用させる構造のもの。	出力:0.5～4,000kW 落差:17～500m 程度 流量:0.01～2.0m^3/s	落差変化が大きいと効率が低下する。	流量が変化しても効率低下は比較的小さい。	回転速度が低いため，機器体格が大きい。
⑩下掛け水車		流水がランナ下部から流入し，ランナが開放さらており，水車軸の中心にギアが収納されたもの。	出力：6.1～120kW 落差：1～2m 流量：1～10m^3/s	落差が変化しても効率の減少は少ない	水車すぐ上流に、せり上がりタイプの流量調整ゲートを設け、流量変化に対し水位一定運転制御を行っている。	構造が簡単。水車の直径は落差の約３～４倍、水車の幅は流量１m^3/sにつき、１mである。 回転速度が遅いのでギアで増速する必要あり。
⑪上掛け水車		流水がランナ部から流入し，ランナが開放さらており，水車軸の中心にギアが収納されたもの。	出力：4～20kW 落差：2～5.5m 流量：0.2～0.6m^3/s	構造上、落差は一定となる。	流量減少により、多少効率が低下する。	構造が簡単。水車直径は、落差の約90～95%程度、水車幅は、流量0.1m^3/s につき 0.5m程度である。 回転速度が遅いのでギアで増速する必要あり。
⑫らせん水車		流水がらせん状のランナの上部から主軸方向に流入する。主軸上部にギヤが収納されているもの。	出力：3～300kW 落差：1～10m 流量：0.3～5.5m^3/s	構造上落差は一定となる。	流量減少により、多少効率が低下する。	構造はやや複雑。魚が通過できる(上流→下流)水車として知られている。 回転速度が遅いのでギアで増速する必要あり。

【参考】　開発動向調査

簡易発電システムへの採用によるコストダウンを念頭に，低落差低流量への対応をはじめとした水車の開発動向について調査した。その結果を以下に紹介する。

a　可動羽根プロペラ水車

表IV-3.1 に示す②の固定羽根プロペラ水車に加え，可動羽根プロペラ水車も簡易発電システムへの適用が期待できる。

これはランナベーン（RV）可動とし，変流量のある地点でも部分負荷効率の向上により運転範囲を広げ，発生電力量増により経済性の向上を期待するものである。

可動羽根プロペラ水車の開発動向について，機器製作者２社を調査した。

（a）開発状況

A 社は既に可動羽根化を製品として開発済みであり，下水処理場で運転中である（出力：37kW，Hs：+4～+5m，流量：0.7～0.8m^3/s)。B 社は可動羽根化の検討がなされており，製品化は可能である。

【A 社】

・電動ランナベーン（RV）可動羽根型が平成 15 年１月より都内の下水処理場で運転中である。図IV-3.2 に【A 社】機器の概観写真及び水路構成図を示す。




図IV-3.2　【A 社】可動羽根プロペラ水車適用例（下水処理場）

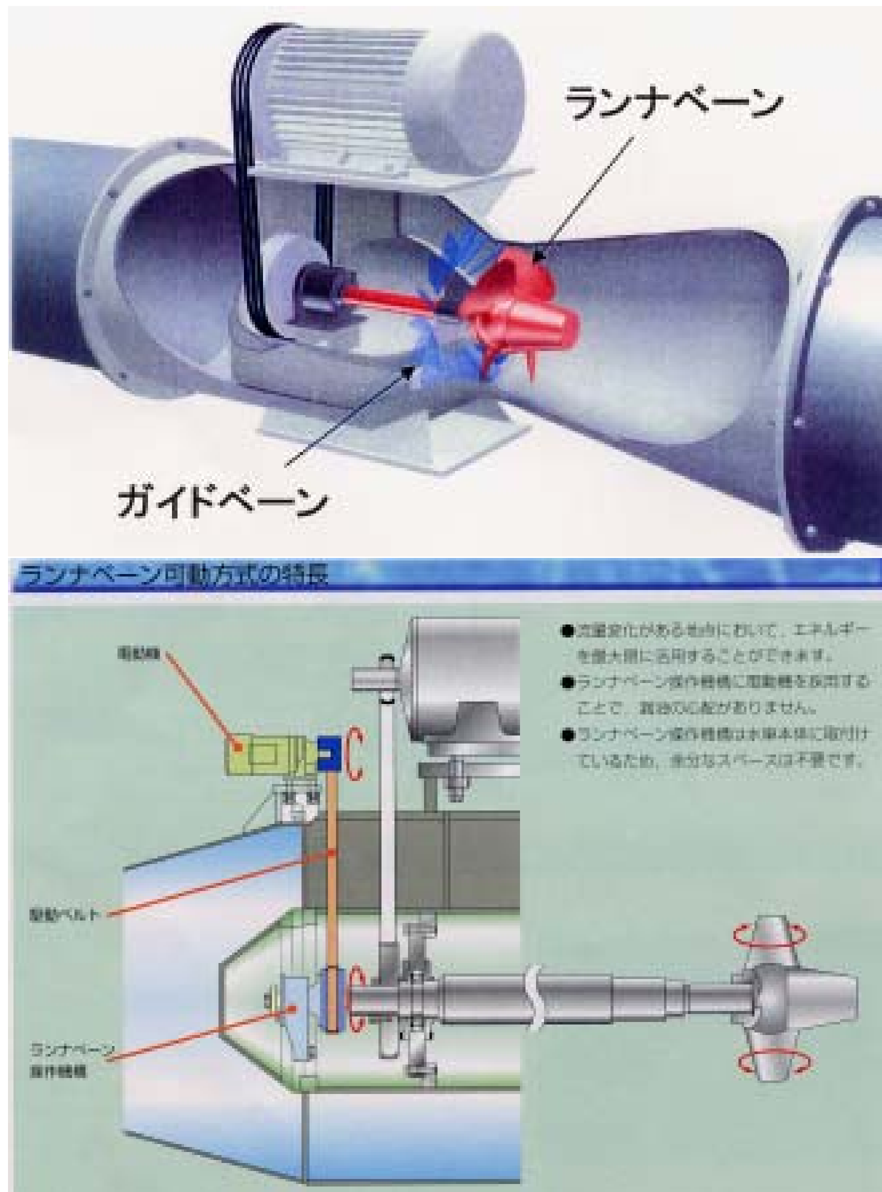
・RV 制御は水位変化により，大・中・小の３段階の制御を行う。
・RV は電動モータとし，ベルト（歯付ゴム製）で駆動する簡単な構造である。
・油漏れ対策として，本体軸受潤滑油のグリースは，Hs マイナス時は水圧

により，Hs プラス時は気圧調整することにより，流水部には漏れない工夫をしている。また，RV はオイルレスメタル，封水部はメカニカルシールを採用している。

・吸出し管出口の放水庭水深が浅い場合は，エアが入らないよう工夫が必要である（放流管をU字管にする等，ストレートに放流する場合は放流管を斜めに配置等）。

・水車発電機はそのまま屋外で使用可能である。

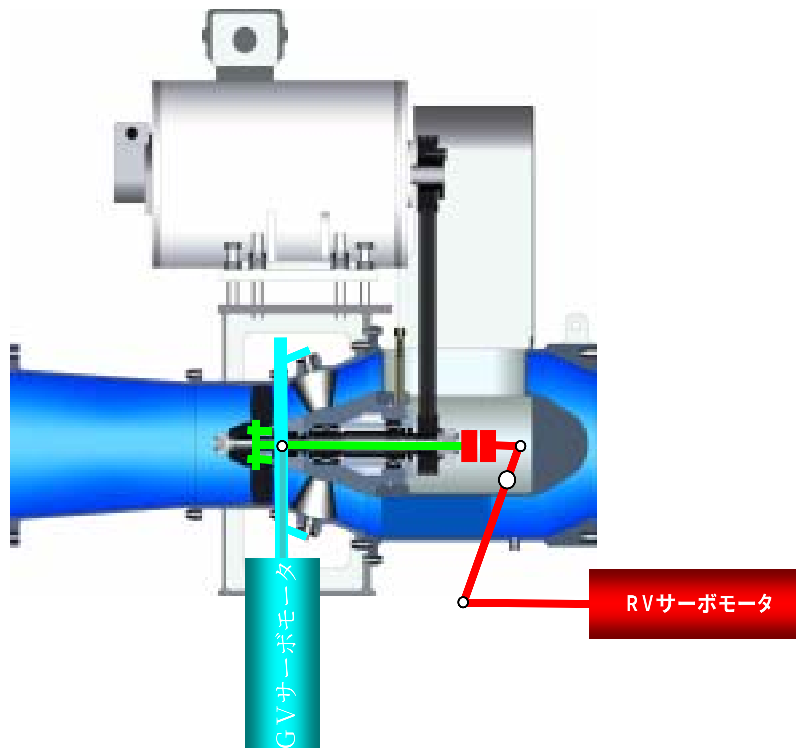
・図Ⅳ-3.3 に【A 社】可動羽根プロペラ水車の構造図を示す。



図Ⅳ-3.3　【A 社】可動羽根プロペラ水車構造図

【B 社】

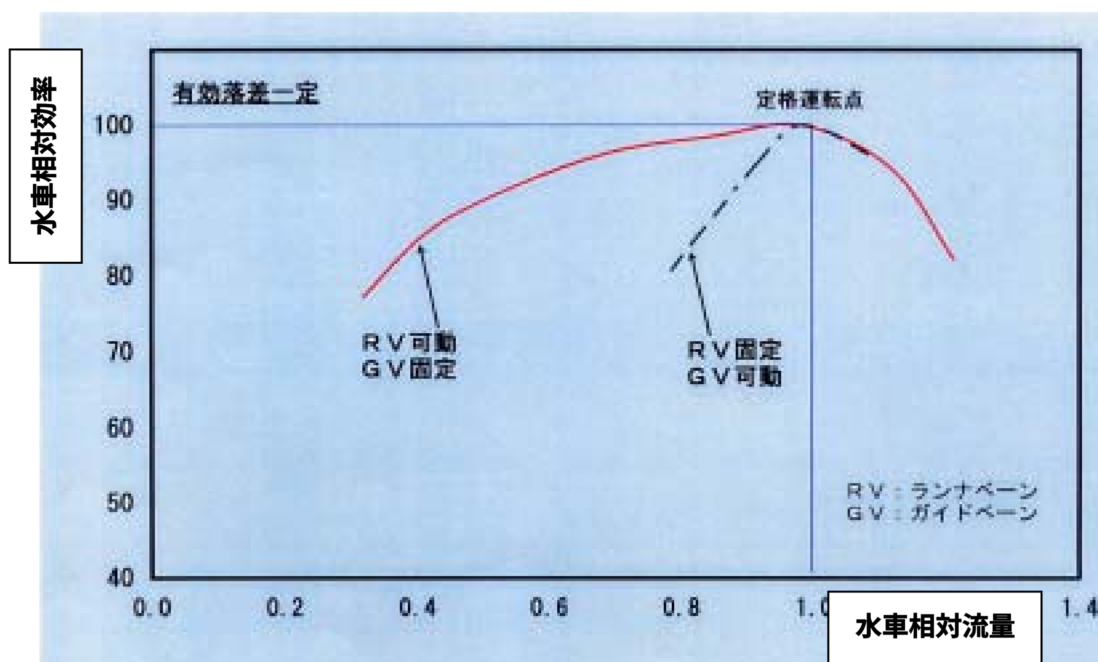
・RV 可動羽根化は開発中で，その機構は水車と発電機ベルトの開口部に設置する。
・ガイドベーン（GV）の可動化は外部に機構があるため，その構造は簡単である。
・油漏れ対策は，軸受潤滑油が軸受シール機構のパッキン構造でシールされており，この気圧調整により内部に漏れる構造であり，外部流水部への漏れはない。
・吸出し管出口は A 社と同様にストレートに放流するのではなく，エアが入らないように，放流管を曲げた配置が必要である。
・図Ⅳ-3.4 に【B 社】可動羽根プロペラ水車の構造図を示す。



図Ⅳ-3.4【B 社】可動羽根プロペラ水車構造図

（b）水車特性

運転可能流量範囲は，RV 可動により，定格流量の 30～110%に運転範囲が拡大するため，変流量対応が可能である。図Ⅳ-3.5 に【A 社】機器の水車性能図を示す。RV 可動により，固定の場合に比較して低流量域での効率が格段に向上している。



図Ⅳ-3.5【A 社】水車特性図

b　サイフォン式タービン

コストダウンを考慮した新型水車として，幾つかの水車形式が考案されているが，サイフォン式タービンもその一つであり，既に実用化されている事例もある。

写真Ⅳ-3.1 はチェコの機器製作者（M 社）製で，吸込み口にランナを取り付け，欧州での設置実績が多く，国内でも最近使われ出した。その構造は図Ⅳ-3.6 に示すように，発電機には誘導発電機を適用しており，起動時は電動機としてポンプ運転を行うことにより，水圧管路を充水することが可能で，充水ポンプや真空ポンプを省略している。

サイフォン式タービンの適用範囲を表Ⅳ-3.2 に示す。この諸元から，簡易発電システムへの適用が期待される。サイフォン管内水車設置方式の特徴として，吸出し管先端が大気開放すると，管内へ大気吸引するため，落差変動や出力変動が懸念されるが，この点については，後述の「(2) 技術検討」の中で説明する。

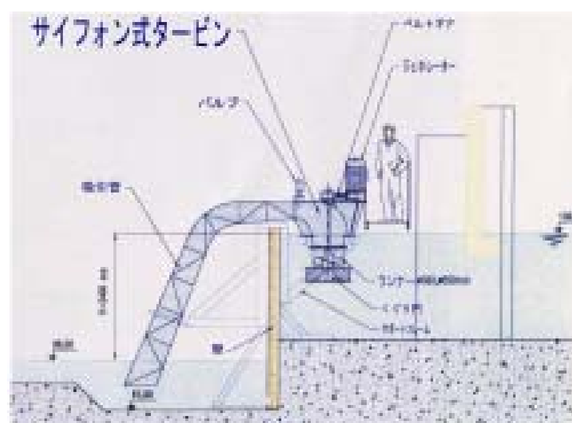


写真IV-3.1　サイフォン式タービン外観

表IV-3.2 サイフォン式タービン適用範囲

サイフォン式タービン（ＴＭ３）	
落差	正味落差＝1.5～6.0m
流量	最大流量＝0.15～0.4m^3/s
出力	最大出力＝0.7～13kW

サイフォン式タービン（ＴＭ５）	
落差	正味落差＝2.0～6.0m
流量	最大流量＝0.6～1.4m^3/s
出力	最大出力＝0.7～50kW



図IV-3.6　サイフォン式タービン構成図

c　投げ込み式水車

投げ込み式水車は，超低落差向けの小水力発電装置であり，立軸固定羽根プロペラ水車の一種である。その適用落差は 1～3m，使用水量は 0.2～2m³/s 程度であることから，発電出力は 30kW 程度である。基本的に，既設の農業用水路等に堰板，本体を設置するだけであり，工期短縮のほか，主たる土木設備も省略できるので，土木工事費の大幅な低減が期待できる。

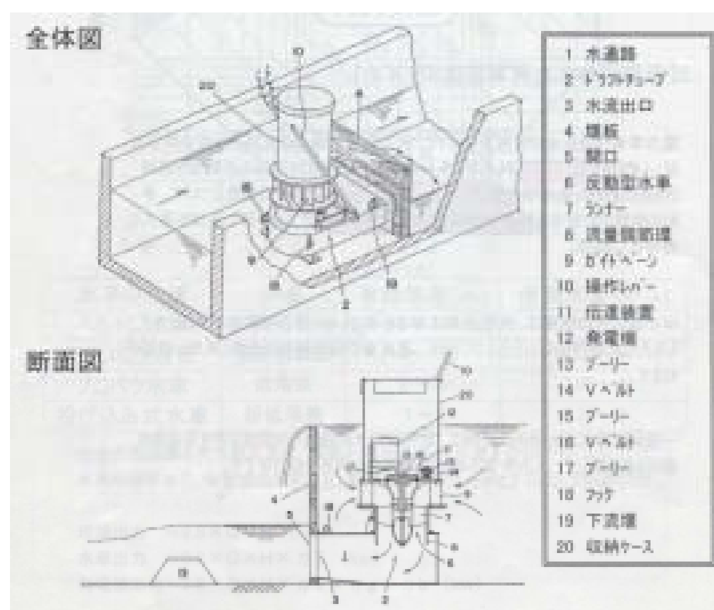
また，機器構造も簡易であり，ランニングコストの低減を図ることも期待できる。投げ込み式水車の特徴を以下に列記し，その構造の一例を図IV-3.7 に示す。

①負荷に応じて電力を発生し，発電機は 8,000min⁻¹ まで対応する。

②このため，回転速度の調整が不要である。

③大口径タービンの採用により，砂・小生物等は通過するので環境負荷が少ない。

④工事は，取付枠設置工事本体と本体据付工事から成り，非常に短期間で済む。



図IV-3.7　投げ込み式水車構造図

同型の機器として，既設農業用水路の落差工部に機器を直接設置して水力発電を行う，開水路落差工用発電システム（J 社）があり，T県N土地改良区で，平成 16 年 4 月から実証試験を実施している。これは落差 2m，使用水量 2.4m³/s で出力 30kW を発生するものである。

d　マイクロチューブラ水車ＳＳ型

マイクロチューブラ水車は,「横軸固定羽根プロペラ水車」であり，既存ダムの河川維持放流水，農業・工業用水や工場排水の活用，途上国における地域電化促進などを目的として，広範囲に適用できるよう標準ユニット化を図り，Ｆ社及びＴ社で製品化されている。

いずれも出力別にＳ型，M型，Ｌ型のラインナップがあり，Ｆ社においては変流量対応のために，可動羽根化も可能である（Ｔ社も製作可能）。２社とも国内はもとより，海外での実績も有している。

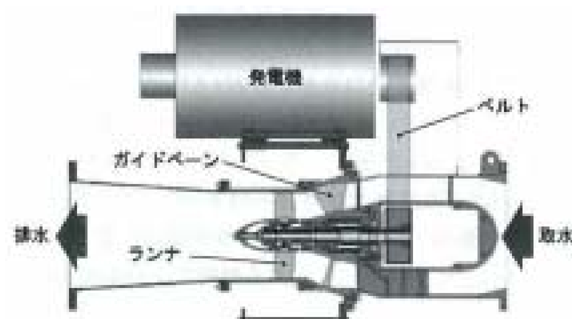
ＳＳ型はＴ社が開発したもので，より小流量・小出力側への適用を狙ったものである。適用諸元は以下の通りであり，開発規模としては一般用電気工作物となる。

・落差 2～10m
・流量 0.06～0.2m^3/s
・出力 1～10kW

この水車の導入により, ②横軸固定羽根プロペラ水車（発電機流路外設置）の適用範囲が，より小流量側へ広がった。

図IV-3.8 に一般的なマイクロチューブラ水車の断面構造を示す。ＳＳ型は既にシリーズ化されたＳ型，M型，Ｌ型と同じ構造で，横軸プロペラ水車と三相交流誘導発電機（又は三相交流同期発電機）をベルトで接続したものである。

その外形寸法は，発電機を含めて 1,260L×600W×1,000H であり，非常にコンパクトで据付工事の容易さと設置スペースの省力化が図られている。

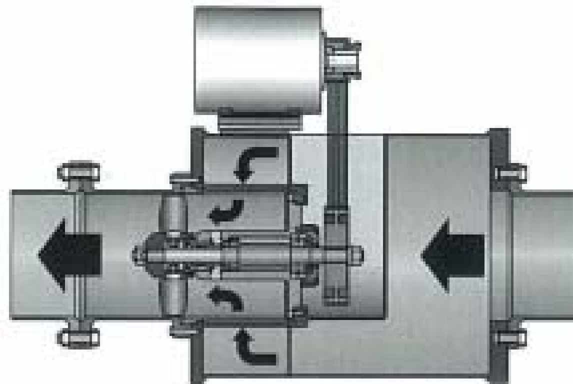


図IV-3.8　マイクロチューブラ水車の構造

また，Ｔ社はＳＳ型の開発にあたり，簡素化による低コストとメンテナンス性を極力損なわないことを前提にしている。

図IV-3.9 はＳＳ型について，その構造を示したものである。水車流路を形成するケーシングについては，流体解析を行い，圧力損失が大きくないこと

が確認され，標準パイプを使用した管胴型ケーシングを採用している。また，流量調整機能として用いられていたガイドベーンは，一定流量地点への適用が主であるとして省略し，円筒型ポートからランナへ流入する構造としている。なお，ガイドベーンの持つ整流効果の代用としてケーシング内に仕切り板を設け，ランナ旋回流を確保している。

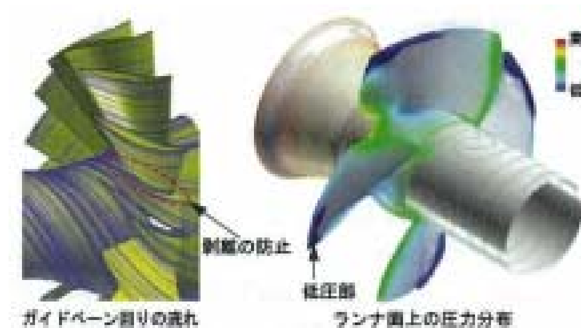


図IV-3.9　マイクロチューブラ水車ＳＳ型の構造

図IV-3.10 は，マイクロチューブラ水車について，ガイドベーンとランナの流れ解析を行った結果である。ガイドベーンは流量調整及びランナに入る流路を構成する部材として設けられるが，ガイドベーン形状をパラメータとした流れ解析により，剥離による損失が発生しない形状が選定されている。

なお，ＳＳ型については前述したように，一定流量地点への適用が主であるとして，ガイドベーンは省略されている。

キャビテーションは，ランナ面上の圧力分布の解析結果が示すように，羽根外周部の低圧部付近で発生することが明らかとなり，模型試験によって発生箇所や大きさを検証し，この解析結果がランナ形状の設計へ反映されている。



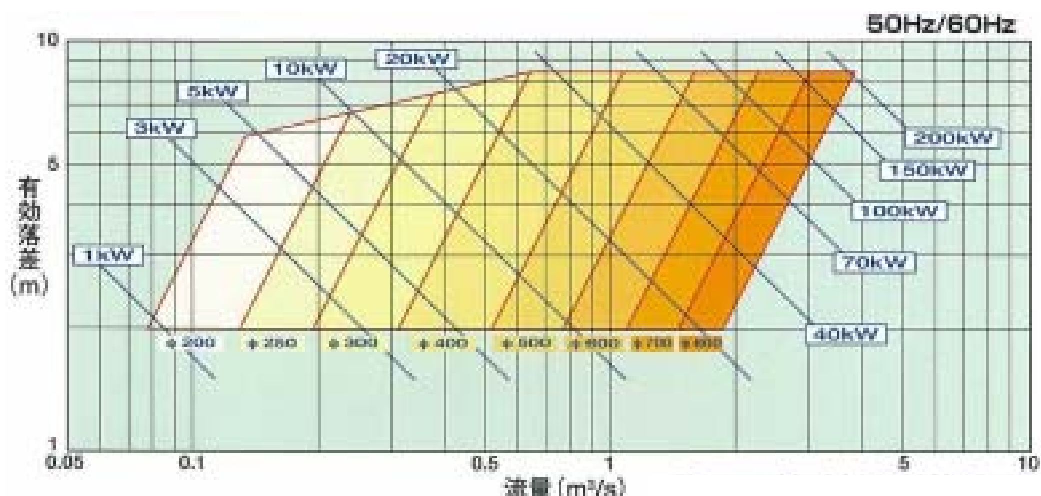
図IV-3.10　ガイドベーンとランナの流れ解析

ＳＳ型の発電機は系統連系する場合，三相交流誘導発電機を使用した系統同期運転とし，自立運転として使用する場合は汎用オルタネータを使用した変速度運転とすることで，ガバナレスとしたシステムが構築されている。従来ではダミーロードガバナを使用した定速度運転が標準であるが，汎用オルタネータはAVR機能を標準装備しており，流量・落差・負荷に応じた回転速度で運転することによりガバナレスが図られている。

現時点でマイクロチューブラ水車ＳＳ型の適用事例は見当たらないが，そのコストは一式 300 万円程度であり（聞き取り調査による），一般用電気工作物の範疇であることも相まって，その普及が期待される。

e　直交軸流型水車

直交軸流水車はＴＳ社が農業用落差工へ適用することを目的に製品化したものである。図IV-3.11 に管路口径別にシリーズ化された選定図を示す。直交軸流水車は，汎用のゲートポンプを水車として使用するもので，基本的に「ポンプ逆転水車」と同じであり，低コスト化が図られている。



図IV-3.11　直交軸流型水車選定図

Ｔ県の農業用落差工にこの水車を設置して，実証試験をメーカーが実施中である。落差 1.5～2m，流量 0.3～0.5m³/s，出力 5kW の一般用電気工作物で，発電機には永久磁石発電機システムを組合せている。運転形態は系統に連系しない自立運転であり，平成 15 年から 3 年間の試験運転が予定されている。

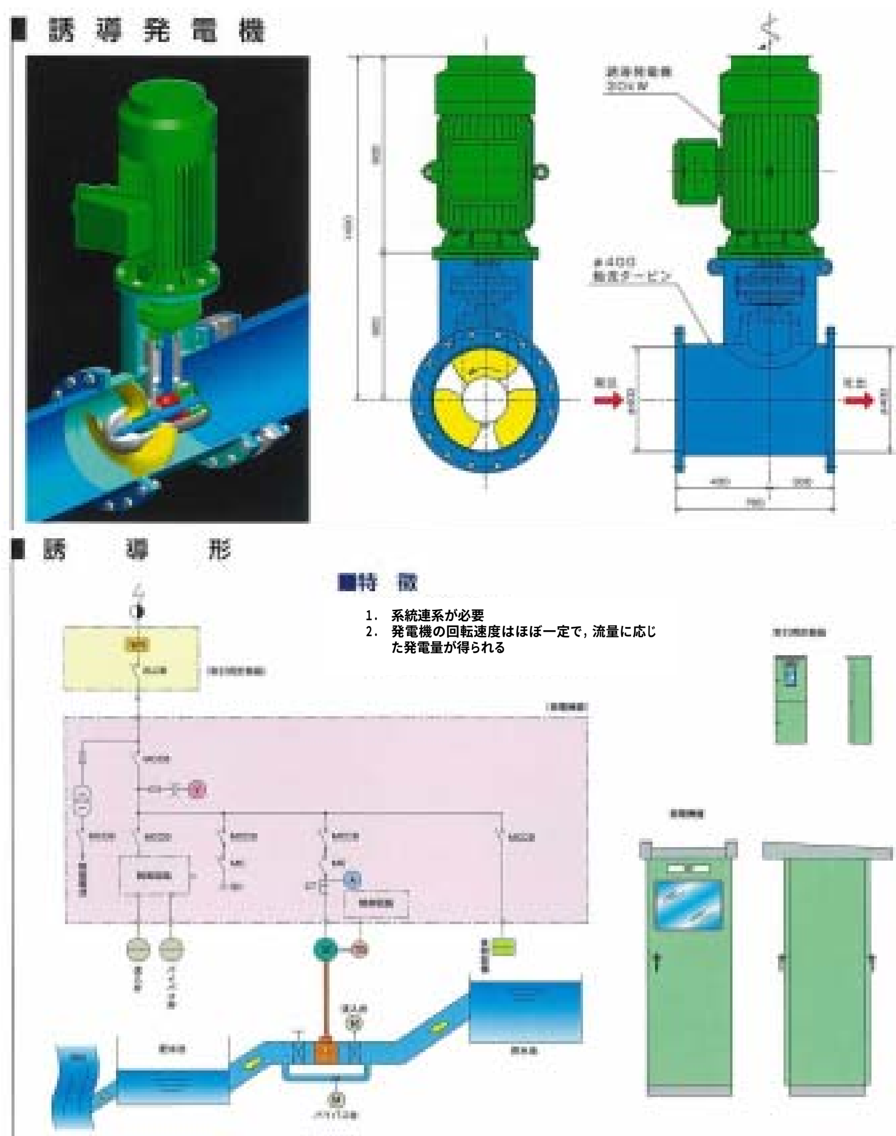
実証試験設備の外観を写真IV-3.2 に示す。



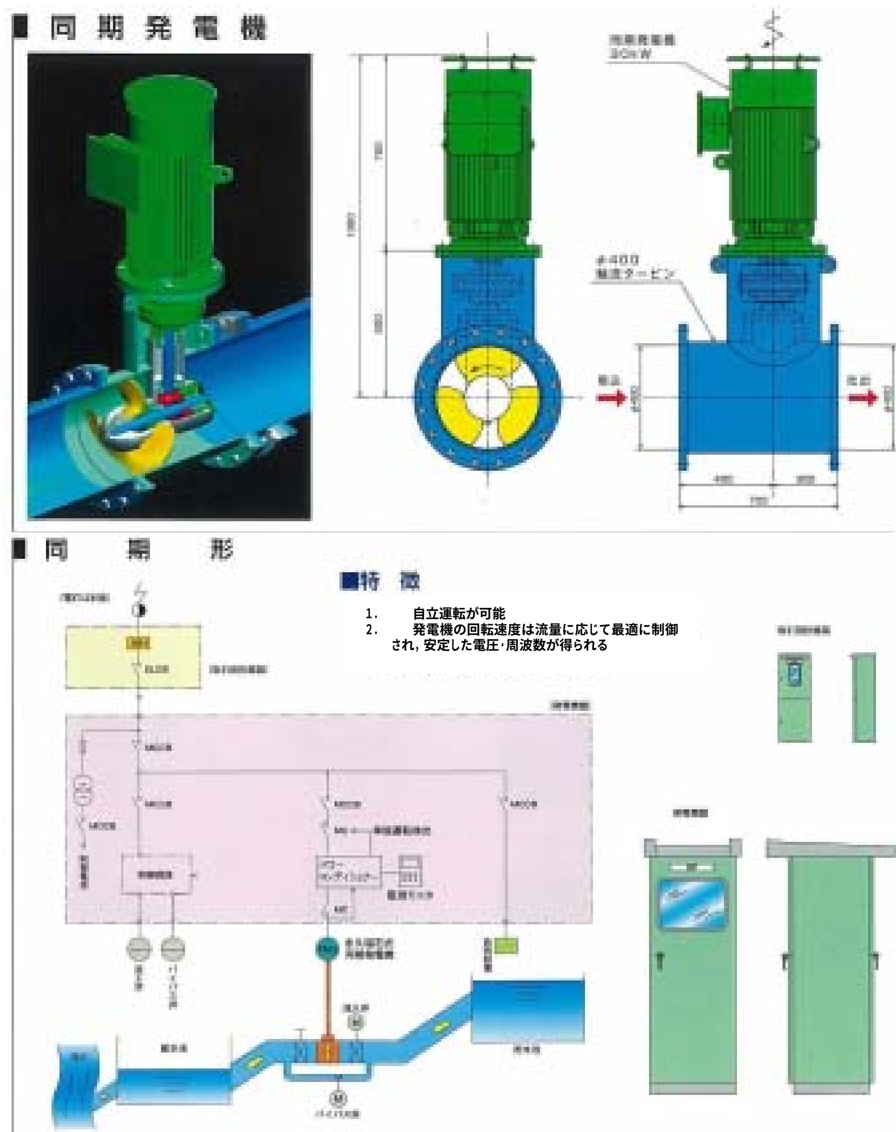
写真Ⅳ-3.2　実証試験設備外観

直交軸流型水車は低コスト，管路内設置により省スペースが図れること，簡易な構造でありメンテナンスが容易，立軸でも横軸でも設置方向を選ばない等のメリットがある。また，直交軸内のギア構成により増減速が可能なため，別途増減速機を設置する必要がない。

図Ⅳ-3.12(1)に誘導発電機，図Ⅳ-3.12(2)同期発電機と直交軸流型水車を組合せた構成例を示す。



図IV-3.12(1)　直交軸流型水車構成例（誘導発電機）



図IV-3.12(2)　直交軸流型水車構成例（同期発電機）

ｆ　簡易型クロスフロー水車

ＭＥ社が製品化している簡易型クロスフロー水車を調査した。適用範囲はクロスフロー水車の小流量，低落差側に位置する。

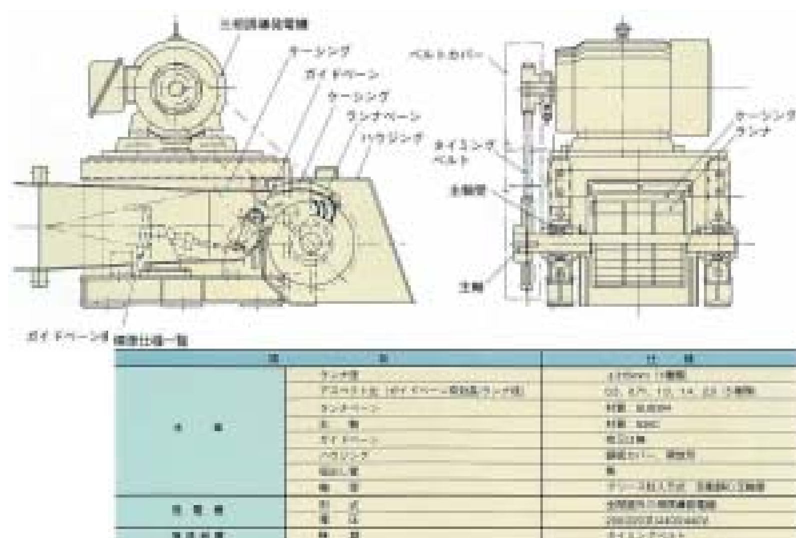
ＭＥ社の簡易型クロスフロー水車の特徴を以下に列記する。

- 必要最小限の機能をコンパクトに纏めて標準化しているため，機器設計をその都度実施する必要がない。
- 上記により，短期納期で経済性に優れる。
- 機器は水槽の淵に据付けるだけであり，特別な工事が不要なため，据付工事費が低減できる。
- 機器標準が屋外仕様であり，発電所建屋が省略できる。

写真IV-3.3 に機器外観，図IV-3.13 に機器構造及び仕様を示す。



写真IV-3.3　簡易型クロスフロー水車外観（ＭＥ社）



図IV-3.13　簡易型クロスフロー水車構造（ＭＥ社）

また，今年度実施したモニタリング調査の中で，マイクロ水力向けにコストダウンを図った海外製品の簡易型クロスフロー水車を適用した事例があった。この製品の場合は，コストダウンのため最小限の取扱説明書は添付されるものの，承認図審査や完成図書の提出は行われない。メーカーの技術やノウハウが漏洩することを防ぐ目的もあるようである。

g　ポンプ逆転水車

ポンプ逆転水車は，既に昨年度までの調査の中で盛り込み済みの水車形式であるが，メーカーにより適用範囲の異なるタイプが製作されている状況にあり，現行の水車形式選定図に適用したM社のほかにＴＳ，K社の２社を調査した。

ポンプ逆転水車は, 標準立軸（横軸）ポンプを逆転させて使用するもので, 流入方向がポンプの場合と比較して反転するため，ランナ固定用ネジを標準ポンプに対して逆に切る必要がある。

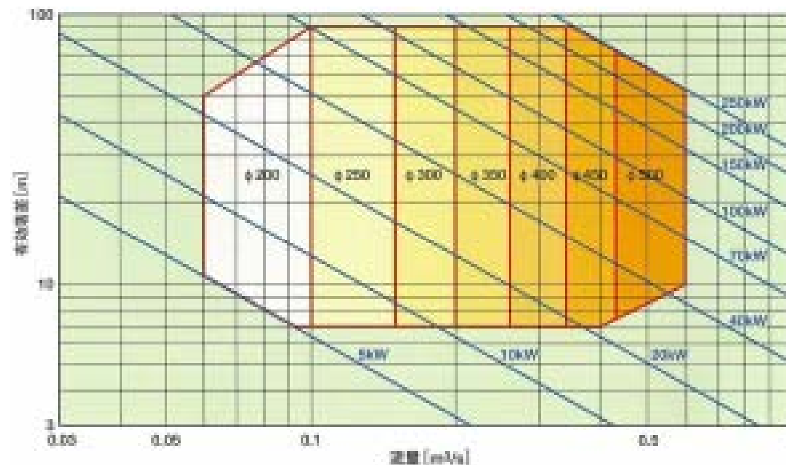
標準ポンプの適用により安価であり，また，部品点数が少なく，単純な構造であり，補修用品に汎用品が適用できることから，メンテナンスコストも抑えることができる。なお，定格運転点での水車運転効率はポンプ運転効率と同水準であるが, 部分負荷領域での効率低下が著しい。このため, 定流量・定落差の水理諸元を有する地点への適用が現実的である。

写真Ⅳ-3.4 は，ＴＳ社で製品化されているポンプ逆転水車の外観を示す。また，図Ⅳ-3.14 には管路口径別にシリーズ化された選定図を示す。

ＴＳ社ではポンプ逆転水車は豊富なラインナップから最適なものを選定するため，単一設計の水車に比べてコストが非常に安価になるとしている。



写真Ⅳ-3.4　ポンプ逆転水車外観



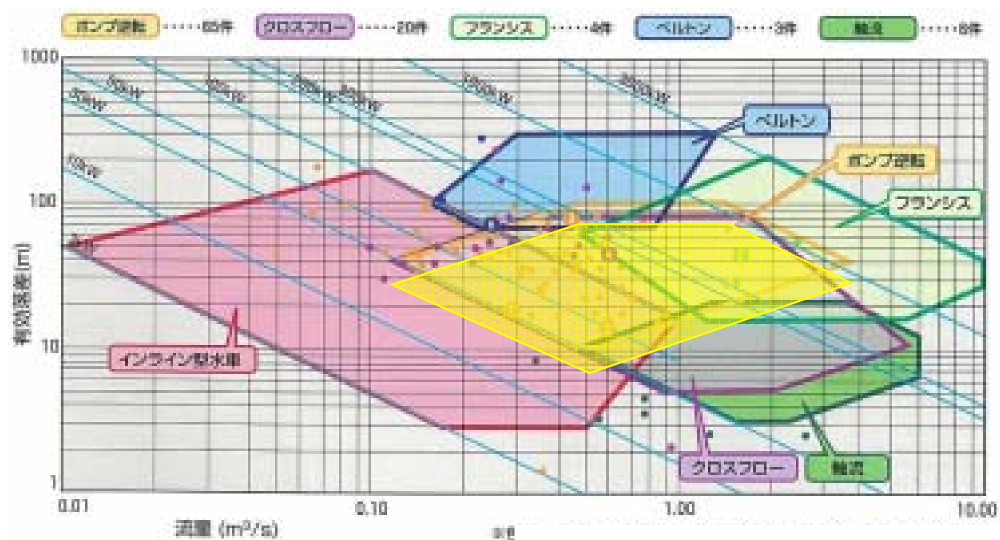
図IV-3.14　ポンプ逆転水車選定図

ＴＳ社のポンプ逆転水車の適用範囲は 0.06～0.6㎥/s で，現行の水車形式選定図の流量に比べ，やや大きいところを狙っている。落差では，現行よりも若干高落差への適用が可能であるが，現行から大きく変わるものではない。

Ｋ社のポンプ逆転水車は，これらに対してより流量の大きいところ，より落差の高いところを狙っている。このため，通常であれば横軸フランシス水車，若しくはターゴインパルス水車を選定するところにも，ポンプ逆転水車が適用できる。

図IV-3.15 は，Ｋ社が示す水車形式選定図であり，図中のプロットは納入実績である。黄色で示すポンプ逆転水車を見ると，適用範囲内でも流量の少ない領域での実績が多く，また，適用範囲を超えて流量の少ない実績も数箇所ある。

写真IV-3.5 は，Ｋ社が納入したポンプ逆転水車の発電所外観を示す。



図Ⅳ-3.15　K社水車形式選定図







写真Ⅳ-3.5　ポンプ逆転水車の発電所外観

３．１．３水車形式の選定

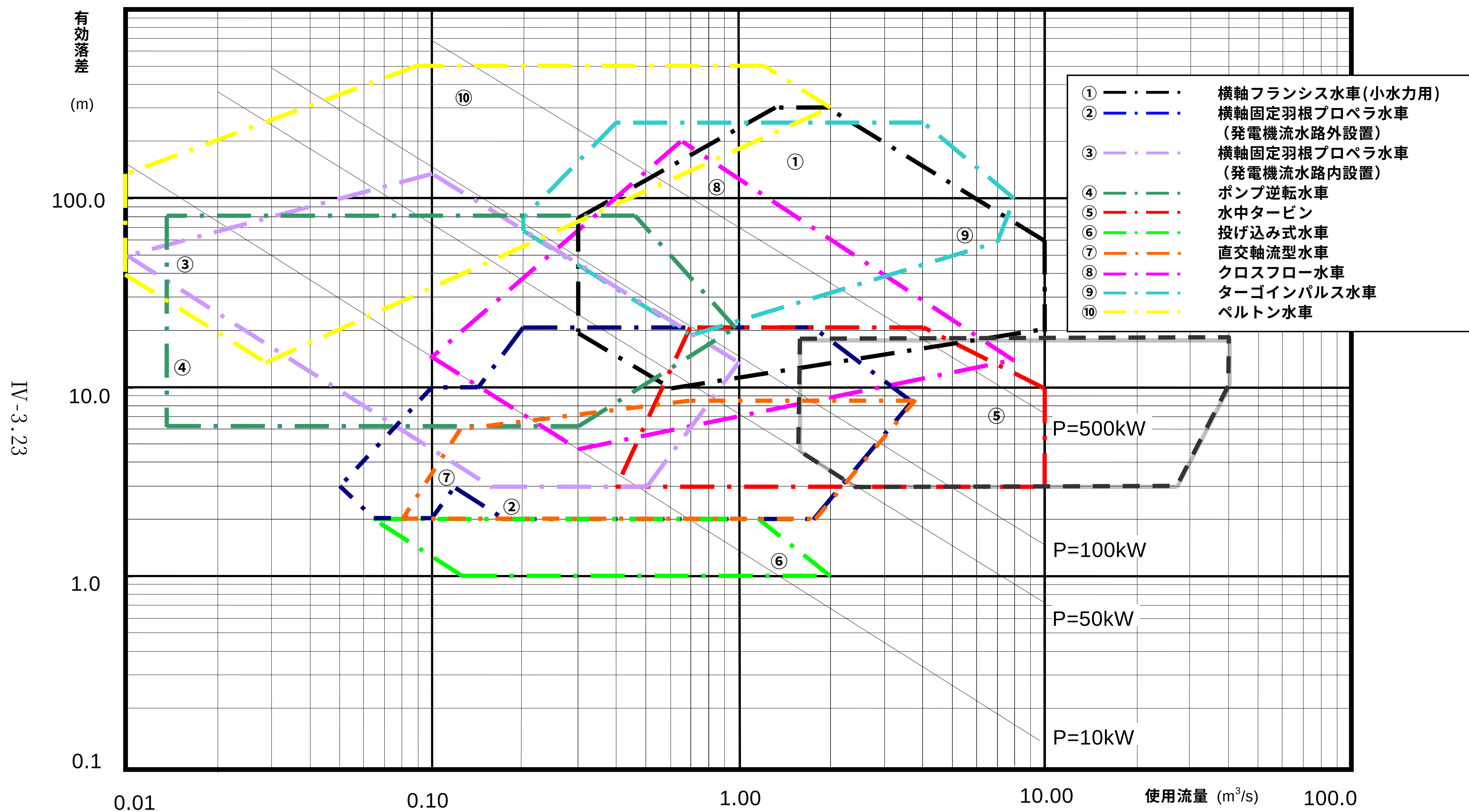
水車形式は落差と流量を基本諸元として，図IV-3.16 をもとに選定する。

【解説】

簡易発電システムにおける水車形式は,落差と流量を基本諸元として選定するが、特に落差が選定の基本的な要因になる。概略は以下のとおりである。

- 超低落差：開放型水車
- 低落差　：プロペラ水車（カプラン水車）
- 中落差　：クロスフロー水車、フランシス水車
- 高落差　：ペルトン水車

落差と流量による水車形式の選定は水車選定図によるが，その一例を図IV-3.16 に示す。なお，水車選定表は各メーカーの特徴を示すものであり，同じ形式の水車であっても若干異なった範囲を示すことが多い。



図IV-3.16　水車型式選定図

３．２ 発電機

発電機の選定は，運転条件・保守性および経済性を考慮して検討する必要がある。

【解説】

発電機は水車のように，適用施設や地点特性で特に留意する事項はなく，水車型式が落差・流量及びその変動範囲と価格等を考慮して最適なものを選定するのに対して，発電機は運転条件，保守性及び経済性を考慮して選定する。また，系統連系，単独負荷への電力供給等の運転区分によっては，選定不可な発電機もあるので，運用面での制約等を加味した検討が必要である。

なお，メンテナンス，ランニングコスト，制御・保護装置との協調を考慮する必要性は水車と共通であり，また，水車との連結方法については，直結なのかギヤまたはベルト駆動により増速するのか，発電機性能を考慮する必要がある。

３．２．１発電機の種類

小水力発電設備用の発電機としては，一般的に同期発電機，誘導発電機，永久磁石発電機および直流発電機の４発電機が考えられる。

【解説】

以下に各発電機の概要を示す。

a 同期発電機

機械動力を受けて交流電力を発生し，定常運転状態において，その回転速度がギャップの回転磁界と同期するもの(これを同期速度という)で，磁気回路，電気回路および機械的部分から構成される。磁気回路は強磁性体でつくられた電機子鉄心と界磁鉄心などからなり，電気回路は電機子巻線，界磁巻線，励磁装置などからなる。機械的部分は固定子枠・回転子軸・軸受等から構成される。

b 誘導発電機

機械動力を受けて交流電力を発生し，互いに独立している２つの巻線があり，１つの巻線から他の巻線に電磁誘導作用によりエネルギーを伝達して回転するもので，定常状態において同期速度と異なる速度で回転する。なお,固定子側の巻線を一次巻線,回転子側の巻線を二次巻線という。

c 永久磁石発電機

機械動力を受けて交流電力を発生し，回転子に永久磁石を使用するもので，発電機本体の特性は同期発電機と類似している。回転子への永久磁石の適用方法によって表面磁石形と埋込磁石形がある。

d　直流発電機

機械動力を受けて，直流電力を発生するものをいい，電機子の回転に伴って導体がＮ極とＳ極の下を通過するときに導体内に発生する起電力の方向は互いに反転し，交番起電力となるので，これを整流子とブラシの整流作用によって直流としている。直流発電機の場合，一般の電力系統に接続する際は，直流電力を交流電力に変換するインバータを必要とする。

３．２．２発電機の選定

簡易発電システムにおける運転条件は，単独運転と系統連系運転の２ケースに区分される。

【解説】

ここで，単独運転とは簡易発電システムが電力系統と切り離された状態において，単独で需要家に電力を供給する形態をいう(離島用電源等)。一方，系統連系運転とは簡易発電システムが低圧・高圧配電線等の電力系統と接続された状態において，簡易発電システムと電力系統の両者から需要家に電力を供給する形態をいう(工場内動力電源等)。

経済性(発電機の相対コスト比)を考慮した簡易発電システムへの適用性を表Ⅳ-3.3 に示す。

表Ⅳ-3.3　簡易発電システムへの発電機種別適用性

発電機種別	運転条件		保守性		ｺｽﾄ比	適用性
	単独運転可否	系統連系運転可否	励磁装置要否	ﾌﾞﾗｼ･整流子要否	発電機本体	
同期発電機	可	可	要	否	1.00	△
誘導発電機	不可	可	否	否	0.75	○
永久磁石発電機	可	可	否	否	0.80	○
直流発電機	可	可	否	要	1.00	○

(注)相対コスト比は発電機出力 300kW を想定

同期発電機は，単独運転，系統連系運転ともに可能であり，また，整流子とブラシの保守が不要であるが，励磁装置が必要であること，相対コスト比が誘導発電機・永久磁石発電機に比べ大であることを考慮するとコストダウンの観点からみて，簡易発電システムへの適用性は低いものと考えられる。

誘導発電機は，単独運転は不可能であるが系統連系運転は可能であり，また，励磁装置が不要で整流子とブラシの保守も不要であり，相対コスト比が他の発電機に比べ最も小さいことから，簡易発電システムへの適用性は高いものと考えられる。

永久磁石発電機は，単独運転，系統連系運転ともに可能であり，また，励磁装置が不要で整流子とブラシの保守も不要であり，相対コスト比が同期発電機，直流発電機に比べ小さいことから，簡易発電システムへの適用性は高いものと考えられる。

直流発電機は，整流子とブラシの保守が必要であり，相対コスト比は同期発電機と同程度であるが，単独運転，系統連系運転ともに可能であり，励磁装置が不要であることを考慮すると同期発電機に比べ，適用性は高いものと考えられる。

以上の運転条件，保守性および経済性(機器コスト)を考慮すると，出力 500kW 程度以下を想定している簡易発電システムに適用が望ましい発電機は，誘導発電機・永久磁石発電機および直流発電機の３発電機である。

なお，永久磁石発電機および直流発電機の場合，インバータにより電圧・周波数を制御する必要があることから，経済性に関しては，このインバータに係るコストを含めて簡易発電システム全体で評価する必要がある。

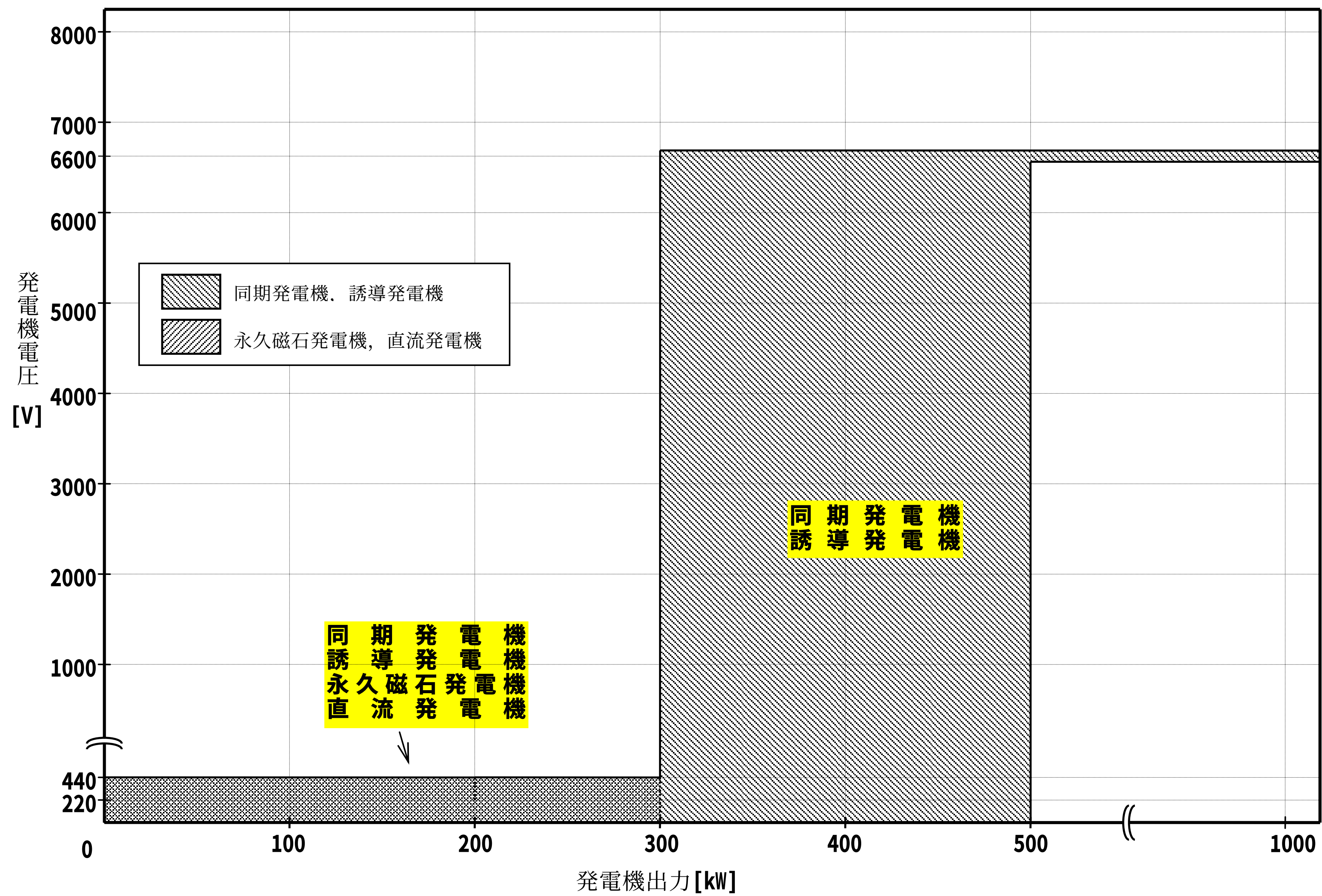
発電機別技術的特徴を表Ⅳ-3.4 に，機器製作者に対するアンケート調査結果を参考に作成した発電機選定図例を図Ⅳ-3.17 に示す。

表IV-3.4　同期発電機・誘導発電機・永久磁石発電機・直流発電機の技術的特徴(1／2)

	構　造	単独運転	力　率	系統並列	高調波負荷	事故時対応	
						系統短絡事故時	無拘束速度時
同期発電機	・励磁機，回転整流器が必要。 ・ﾌﾞﾗｼﾚｽ励磁であるため保守が容易。	・単独運転，系統連系運転共に可能。	・単独運転時は，負荷の力率により定まるが，一般的には，負荷力率は 80～90%で遅れ。 ・系統連系時は，励磁電流の調整により無効電力を調整することが可能。	・自動同期装置により電圧位相等を合わせて並列する。 ・並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・制動巻線なしの場合は磁極表面で，制動巻線付の場合は制動巻線の熱容量で許容出力が制限される。	・過度電流が流れる。 ・励磁方式により，発電機に励磁電流の供給が可能な場合には，過度電流発生後に持続短絡電流が流れる場合がある。 ・短絡方向継電器(DSR)により保護する必要がある。	・発電機が無拘束速度連続運転仕様でない場合には，無拘束速度による運転を長時間継続しないよう過速度継電器(12)等で保護し，発電機を停止させる(⇒調速機要)。 ・発電機が無拘束速度連続運転仕様である場合には，人為的にｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ，入口弁又は取水口ｹﾞｰﾄなどの閉鎖により発電機を停止させる。また，発電機運転中に並列用遮断器が OFF された場合は，界磁遮断器も自動的に OFF する必要がある。
誘導発電機	・励磁装置が不要 ・回転子が，かご形構造の場合,堅牢で高速化が容易。 ・回転子が，巻線形構造の場合，ﾌﾞﾗｼの保守が必要。	・励磁電流を系統から供給する必要があり，一般には単独運転は不可能。但し，小容量機(出力 25kW 程度以下)では，ｺﾝﾃﾞﾝｻ励磁方式等の採用により可能。	・「すべり」の絶対値が大きくなるほど出力は増加する。出力増加に伴い無効電力も増加するが，力率の調整は不可。 ・力率調整(改善)するためには，補償用ｺﾝﾃﾞﾝｻ設置が必要。	・並列時には，「すべり」と無関係に約 5～6 倍の突入電流が流れるため，電圧降下が大きい場合には，限流ﾘｱｸﾄﾙを設置する必要がある。 ・並列時の「すべり」による突入電流の大きさは変らない(一般には突入電流は拘束電流相当が流れ，「すべり」と無関係)が，電圧に影響する時間を短くするため，同期速度近傍で並列するのが望ましい。	・回転子ﾊﾞｰの熱容量が大きく，高調波負荷に対して比較的強い。	・過度電流が流れる。 ・過度電流発生後には，発電機に励磁電流を供給することができなくなるため，持続短絡電流は流れない。 ・不足電圧継電器(UVR)により保護する必要がある。	*同期発電機に同じ*

表Ⅳ-3.4　同期発電機・誘導発電機・永久磁石発電機・直流発電機の技術的特徴(2／2)

	構　　造	単独運転	力　　率	系統並列	高調波負荷	事故時対応	
						系統短絡事故時	無拘束速度時
永久磁石発電機	・小型，軽量，高効率。 ・回転子に永久磁石を使用しており,表面磁石形埋込磁石形がある。	・単独運転，系統連系運転共に可能。但し，電圧・周波数が回転速度に依存し，制御できないため，ｲﾝﾊﾞｰﾀを設け，負荷に接続する必要がある。	・発電機本体は励磁電流を供給しないため,誘導機より力率がよい。 ・負荷側から見た力率は,ｲﾝﾊﾞｰﾀにより決定される(力率制御が可能)。	・ｲﾝﾊﾞｰﾀにより電圧位相等を合わせて並列する。 ・並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・磁極表面で許容出力が制限される。 ・実用ではｲﾝﾊﾞｰﾀの容量選定時に高調波分を考慮する必要がある。	・過度電流が流れる。 ・過度電流発生後，発電機に励磁電流を供給することが可能であるため,持続短絡電流が流れる。 ・短絡方向継電器(DSR)により保護する必要がある。また，一般的にｲﾝﾊﾞｰﾀは，ｲﾝﾊﾞｰﾀに付加される保護機能により定格の約 3 倍の電流で瞬時遮断される。 ・過度電流は，ｲﾝﾊﾞｰﾀの負荷側に設置される交流ﾘｱｸﾄﾙで制限される。	・無拘束速度時には，発電機の回転速度にほぼ比例して発電機電圧も上昇する。これによる過電圧からｲﾝﾊﾞｰﾀを保護するために，過電圧継電器(OVR)及び発電機とｲﾝﾊﾞｰﾀ間を切り離すための遮断器を設置する必要がある。
直流発電機	・整流子とﾌﾞﾗｼの保守が必要。	・単独運転，系統連系運転共に可能。但し，電圧が回転速度に依存し,制御できないため，ｲﾝﾊﾞｰﾀを設け,負荷に接続する必要がある。	・発電機本体は励磁電流を供給しないため,誘導機より力率がよい。 ・負荷側から見た力率は,ｲﾝﾊﾞｰﾀにより決定される(力率制御が可能)。	・ｲﾝﾊﾞｰﾀにより電圧位相等を合わせて並列する。 ・並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・実用ではｲﾝﾊﾞｰﾀの容量選定時に高調波分を考慮する必要がある。	・発電機の電機子抵抗で決まる短絡電流が流れ，ﾌﾗｯｼｭｵｰﾊﾞを発生する危険がある。 ・発電機は，直流ﾘｱｸﾄﾙで短絡電流を制限し，直流遮断器で保護する必要がある。また，一般的にｲﾝﾊﾞｰﾀは，ｲﾝﾊﾞｰﾀに付加される保護機能により定格の約 3 倍の電流で瞬時遮断される。	*永久磁石発電機に同じ*



図IV-3.17　簡易発電システム適用可能発電機選定図

３．２．３　発電機に対する技術的要求事項

簡易発電システムに適用が見込まれる発電機について，技術的要求事項を法令等に起因する要求事項と使用者側が機能保証・機能維持上最低限必要とする要求事項に区分して検討した。

【解説】

簡易発電システムに適用が見込まれる発電機について，技術的要求事項を法令等に起因する要求事項と使用者側が機能保証・機能維持上最低限必要とする要求事項に区分して検討した。

要求事項の抽出・選定にあたっては，電気協同研究会第 54 巻第 1 号「水力発電所主要機器購入仕様標準」を参考とした。

なお，ここでは機器製作者標準品(ラインアップ製品)を対象としていることから，固定子・回転子巻線の絶縁構造，発電機分解組立方法，材質規格などについては，機器製作者カタログを参照するものとした。

① 法令等に起因する技術的要求事項

要求事項	該当法令等
発電機の種類 容量	・規則第 4 条「事業の許可申請」(事業計画書) ・規則第 46 条「供給計画の届出」
電圧 相 周波数 回転速度	・規則第 4 条「事業の許可申請」(事業計画書)
台数	・規則第 4 条「事業の許可申請」(事業計画書) ・規則第 46 条「供給計画の届出」
巻線温度上昇 固定子巻線 回転子巻線	・電技第 8 条「電気機械器具の熱的強度」 ・JEAC 5001-2000 第 3-6 条「回転機の熱的強度」
絶縁の種類	・電技第 8 条「電気機械器具の熱的強度」

電　　技：電気設備に関する技術基準を定める省令

ＪＥＡＣ：発変電規程

② 使用者側技術的要求事項

要求事項	要求理由
出力別効率	発電電力量に大きく影響する。
定格の種類	購入品確認。 (定格の種類に関する補足説明) JEC−114 では連続定格，短時間定格，反復定格および等価定格の 4 種類に区分されるが，簡易発電ｼｽﾃﾑでは連続使用が想定されることから，連続定格を採用するものとする。
電流	
発電機構造概要図	
励磁装置形式	
励磁装置構成	
調速機形式	
運転・補機制御装置形式	

３．２．４発電機に関する課題および方向性

簡易発電システムに適用が期待される発電機として，前項までの検討結果を踏まえると，励磁装置が不要で，単独運転，系統連系運転ともに可能な永久磁石発電機および直流発電機が挙げられる。

【解説】

永久磁石発電機および直流発電機は，機器製作者に対するアンケート調査結果によると 300kW 程度が現時点における標準化の限界にあると思われる。

本検討においては，コストダウンを図るため，機器製作者標準品(ラインアップ製品)を採用することを基本としていることから，現時点における標準品の製作限界を考慮すると永久磁石発電機および直流発電機は，簡易発電システムの出力上限である 500kW にその標準品を適用することができない。

したがって，これら発電機を簡易発電システムに適用していくためには，発電機出力を 500kW 程度まで増加させ，コストダウンの観点から標準化(ラインアップ化)を行う必要がある。

500kW 級永久磁石発電機および直流発電機の製作上の技術的課題を添付資料 4-2「500kW 級永久磁石発電機および直流発電機に関する技術的課題」に示す。

添付資料 4-2 から明らかなように，500kW 級永久磁石発電機の場合，無拘束速度時に約２～2.5 倍の回転速度に発電機が加速されることを考慮すると，磁石を回転子内部に埋め込む埋込磁石形構造(回転子構造が複雑)とし，発電機端子電圧を 360V 程度(インバータ素子保護対策)に抑制する必要がある。

500kW 級直流発電機の場合は，回転速度が無拘束速度まで上昇すると，これに比例して誘起電圧も上昇する。このため，誘起電圧上昇に起因するフラッシオーバを避けるため，電圧上昇を抑制する必要がある。

また，励磁装置不要(構成部品点数小)の特徴を有し，同期発電機に比べ安価などの利点のある誘導発電機を,単独運転時のブラックスタート可とする技術開発(コンデンサ励磁方式の適用拡大等)を推進する必要がある。

誘導発電機の単独運転化は，若干のコスト増の要因となるが，運転条件が緩和(単独運転,系統連系運転ともに可)され,永久磁石発電機と同レベルのコストダウンが期待される。

さらに，バイパスバルブを伴う設備に簡易発電システムを設置した場合は，水車の場合と同様にバイパスバルブを簡易発電システム側から放流側等に切換えた際の無拘束速度対策が必要となる。発電機の無拘束速度対策としては，以下の事項が考えられる。

① 無拘束速度時における耐遠心力設計(構造強化)。

② 過速度継電器で発電機を停止させる(調速機要)。

③ ガイドベーン，入口弁または取水口ゲートで流水遮断する(左記設備設置要)。

④ 永久磁石発電機および直流発電機の一次側にインバータを設置する場合，無拘束速度時には発電機の回転速度にほぼ比例して発電機電圧が上昇することから，インバータを保護するため，過電圧継電器および発電機からインバータを切り離すための遮断器を設置する。

なお，上記の理由から発電機の無拘束速度対策に係る初期コストは増となることが予想される。したがって，本対策を実施した場合の発電機の寿命延長に伴う保守費用低減と初期コスト増を考慮して簡易発電システム全体としての経済性を検討する必要がある。

[参考]　**開発動向調査**

発電機は同期発電機が主流であるが，開発動向調査として，簡易発電システムへ適用可能な発電機種別として期待される，a.永久磁石発電機，b.直流発電機，c.誘導発電機の3種について，機器製作者を調査した。

【解説】

以下に調査の概要を示す。

a　永久磁石発電機

永久磁石発電機（PMG）は，最近，風力発電の分野で多く適用されつつあり，風速に応じた最適な回転速度で高効率運転をするために，永久磁石発電機と電力変換器（INV）を組合せた可変速運転システムが採用されている。

このシステムは水力発電へも適用が可能であり，流量や落差に応じて最適な回転速度で水車発電機を駆動して,系統や単独負荷に電力を供給することが可能である。また，電力変換器により速度・負荷制御することにより，水調運転や流量一定運転の必要がなければ，調速装置を省略することも可能である。

永久磁石発電機の開発状況として，機器製作者 3 社を調査した。【A 社】は出力300kW,600kW,2,000kW の永久磁石発電機を風力発電に適用するための開発を行い,既に製品化している。【B 社】は出力 0.3kW～16kW の永久磁石発電機をマイクロ・ミニ風水力用として開発中であり，製品化の予定にある。また,【C 社】も出力 10kW～500kW の永久磁石発電機をマイクロ・ミニ風水力用に適用するための開発を行い,既に製品化している。

【A 社】

･永久磁石発電機は出力 2,000kW まで製作可能である。
･製品ラインナップとしては，出力 300kW，600kW，2,000kW がある。
･永久磁石メーカーは，国内においては 2 社のみである。
･永久磁石発電機は INV を介して系統連系する同期発電機である。
･励磁装置が不要であり，ブラックスタートが可能である。

【B 社】

･マイクロ・ミニ風水力用として，永久磁石発電機を開発中である。
･その出力は 0.3kW～16kW を対象とし,また,風水車に合せた回転速度(200min^{-1}, 400min^{-1}，1,750min^{-1})，電圧（200V，400V）の製品ラインナップがある。
･電力変換器（発電制御用 INV+出力制御用 INV+出力フィルタ）により，風水車の回転速度が変化しても，最大出力が得られるように制御し，風水車のエネルギーを効率良く変換している。

・【B 社】の製品仕様を図IV-3.18 に示す。

特長―その1　発電容量に対応した、発電機と電力変換装置の最適な組み合わせを提供します。

・定格出力0.3kW～18kWにて10シリーズを準備しました。

・各シリーズにて最適な発電電圧を選択することができます。
三相・単相　：　200V/50Hz　200V, 220V/60Hz
単相　：　100V/50Hz　100V/60Hz

・原動機（風車・水車など）の特性に合わせられるよう、高速回転用（1750min⁻¹）と低速回転用（400min⁻¹）があります。（200V級）
低速回転用は、原動機との間に増速機のない直結タイプに使用することができます。

・オプション機能として、
―バッテリーによる蓄電機能
―過大発電時のシステム保護機能
も準備しています。

特長―その2　高効率を追求しました。

高効率発電機を採用

・高性能永久磁石を採用した高効率同期発電機を採用することにより、損失電力が低減し、高い発電効率が得られます。
（発電機は安川モートル（株）製）

回転子に高性能永久磁石を内蔵した小型・軽量の同期発電機です

高効率発電制御を実現

風速の変化などにより原動機の出力特性が変化しても、発電電力が最大となるように制御する新開発の発電制御と、高性能インバータの採用により、風車や水車などの原動機のエネルギーを効率よく利用することができます。

風力発電における高効率発電制御の例

特長―その3　さらに・・・

小形・軽量・省スペース

・発電機の小形、軽量化により省スペース化を実現し、設備のコンパクト化に貢献します。

170kg

信頼性、耐環境性がアップ

・新開発のセンサレス制御により、発電機の回転速度センサが不要です。
・回転速度センサの無い全閉外扇形の発電機を採用しており、厳しい環境にも対応できます。

省メンテナンス

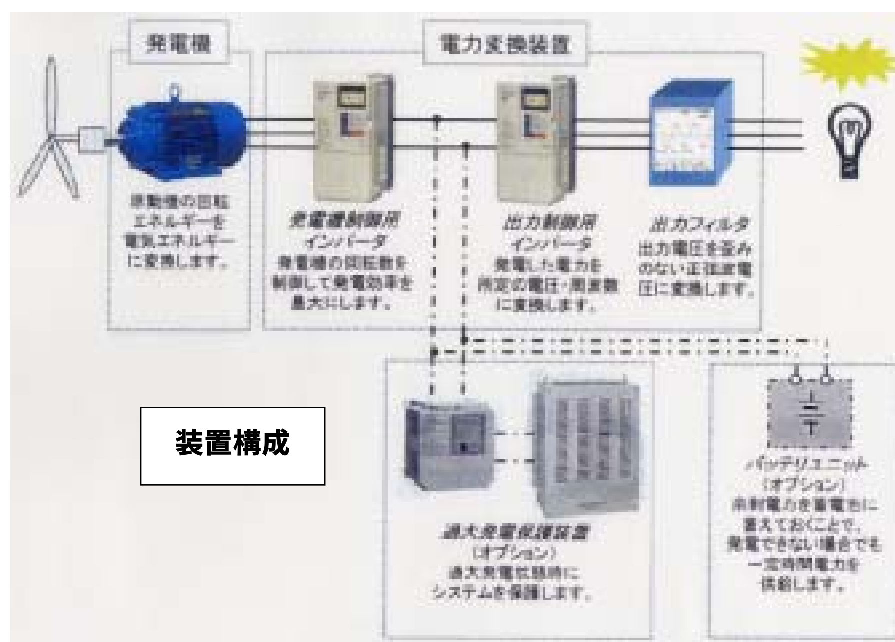
・発電機の損失を大幅に低減した事により、軸受部のグリース寿命が長くなり、保守作業を軽減できます。
・電力変換器装置のインバータに内蔵した冷却ファンは、必要時に自動動作し、長寿命化を図っています。

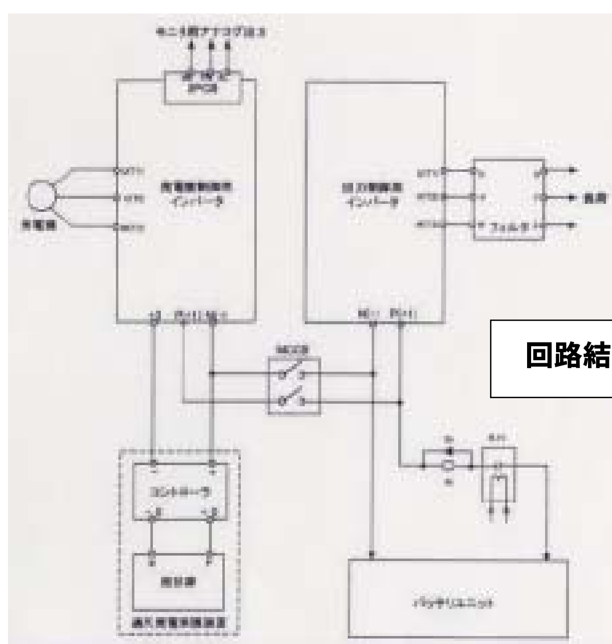
外部電源が不要

・同期発電機の採用と発電機制御により、起動時および定常時の外部からの制御電源が不要です。

図IV-3.18　【B 社】永久磁石発電機の製品仕様

・【B 社】の装置構成及び回路結線図を図IV-3.19 に示す。

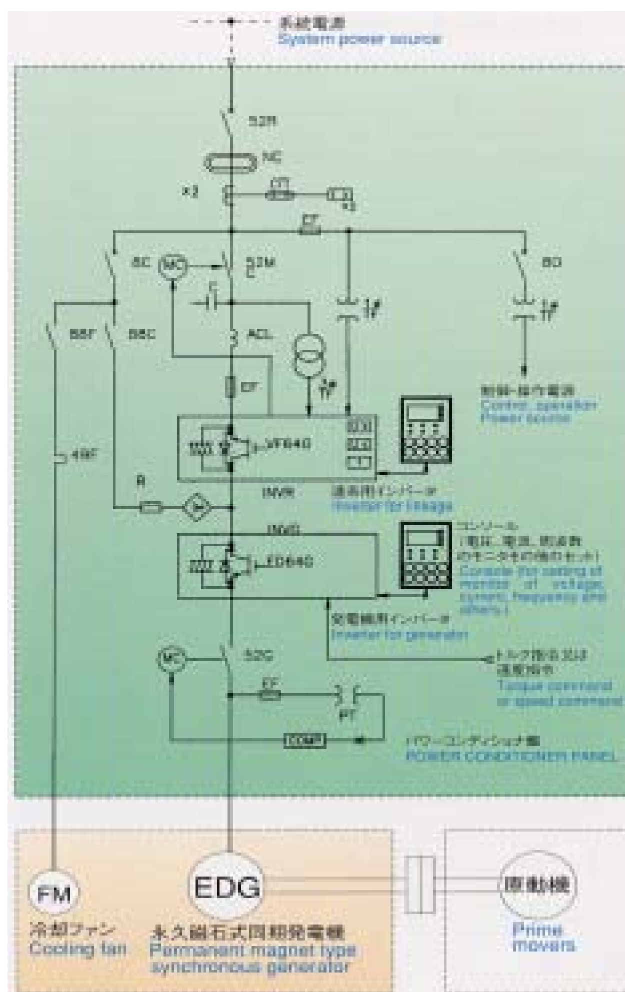




図IV-3.19　【B 社】永久磁石発電機の装置構成，回路結線図

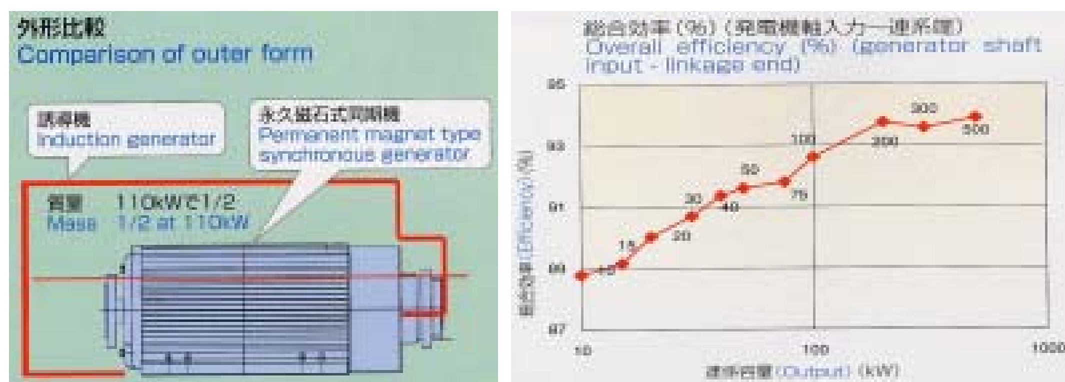
【C 社】

- マイクロ・ミニ風水力用として，永久磁石発電機とパワーコンディショナ盤の組合せにより，分散電源用発電装置として開発を行い，既に製品化している。
- その出力は 10kW～500kW を対象とし，また，風水車に合せた回転速度（1,200min^{-1}，1,500min^{-1}，1,800min^{-1}），電圧（200V，400V）の製品ラインナップがある。
- パワーコンディショナ盤は発電用 INV と連系用 INV から構成され，発電用 INV は磁束制御方式により発電状態に応じた高効率運転が可能である。一方，連系用 INV は系統連系にあたって安定した電圧，周波数に変換して高調波はほとんど含まない。
- この連系用 INV には系統電圧，周波数の異常を検出する保護装置のほか，単独運転状態を検出する能動，受動方式の検出器を内蔵しており，単独運転状態を含む系統異常時にもこれを確実に検出して，発電機を系統から切り離すことが可能である。また，系統電圧上昇自動抑制（SVC）機能も有している。
- 本装置は標準仕様の分散電源用発電装置であり，低圧連系を可能にしている。
- 図Ⅳ-3.20 に【C 社】のシステム構成を示す。



図Ⅳ-3.20　【C 社】システム構成図

・永久磁石発電機は小型化が可能であり，誘導発電機に比べて32～57%軽減する。また，INV による高効率制御により発電機から連系端までの総合効率は，大容量機で94%，小容量機でも90%程度を実現している。図Ⅳ-3.21に【C社】の発電機外形比較及び連系容量に対する総合効率カーブを示す。



図Ⅳ-3.21 【C社】発電機外形比較及び総合効率カーブ

・【C社】の永久磁石発電機仕様を表Ⅳ-3.5に，パワーコンディショナ盤仕様を表Ⅳ-3.6に示す。いずれも準標準仕様が設定されており，運転条件及び保守性，系統連系ガイドラインに適合した保護装置を構成することが可能である。

表Ⅳ-3.5 【C社】永久磁石発電機仕様

<table>
<tr><th colspan="3">項　目</th><th>標 準 仕 様</th><th>準標準仕様</th></tr>
<tr><td colspan="3">種類</td><td>永久磁石式同期発電機</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">適用規格</td><td>JEC-2100(1993)
回転電気機器一般</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">1</td><td rowspan="5">定格事項</td><td>極数</td><td>6極</td><td></td></tr>
<tr><td>出力</td><td>11～500kW</td><td></td></tr>
<tr><td>電圧</td><td>190/380V(190V級は90kWまで)</td><td></td></tr>
<tr><td>定格基底回転速度</td><td>1,200min^{-1}
出力一定範囲は基底回転数に対し1:1.33</td><td>1,500min^{-1}, 1,800min^{-1}</td></tr>
<tr><td>時間定格</td><td>連続</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">外被</td><td>保護形式</td><td>IP44(全閉防まつ形)</td><td></td></tr>
<tr><td>冷却</td><td>IP411(外被表面冷却自力形)37kW以下
IP416(外被表面冷却他力形)45kW以上</td><td>IP411(外被表面冷却自力形)45kW以上</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td colspan="2">絶縁の種類</td><td>F種</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">温度上昇</td><td>F種ライズ</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">4</td><td rowspan="5">使用環境</td><td>周囲温度</td><td>-10～+40℃</td><td>+40～+60℃, -10～-30℃</td></tr>
<tr><td>相対湿度</td><td>95%RH以下</td><td>95%RH超過</td></tr>
<tr><td>標高</td><td>1,000m以下</td><td>1,000m超過</td></tr>
<tr><td>使用場所</td><td>屋内</td><td>屋外</td></tr>
<tr><td>ガス･蒸気</td><td>有害な腐食性, 爆発性ガスや蒸気のない場所</td><td>防食2種, 3種</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">取付方法</td><td>横据置脚取付(B3)</td><td>フランジ形, 立て形</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">負荷との結合</td><td>直結／ベルト掛(ベルト掛は200kWまで)</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="2">振動</td><td>両振幅V30以下</td><td>両振幅V10以下</td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">騒音レベル</td><td><table>
<tr><th>枠番</th><th>dB(A) 50/60Hz</th><th>枠番</th><th>dB(A) 50/60Hz</th></tr>
<tr><td>100</td><td>67</td><td>180</td><td>77/80</td></tr>
<tr><td>112</td><td>72</td><td>200</td><td>78/81</td></tr>
<tr><td>132</td><td>75</td><td>250</td><td>82/85</td></tr>
<tr><td>160</td><td>72/75</td><td>315</td><td>85/88</td></tr>
</table></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td colspan="2">超過トルク耐量</td><td>150%　1分間</td><td>150%超過･未満</td></tr>
<tr><td>10</td><td colspan="2">塗装色</td><td>発電機　マンセル7.5BG4/1.5</td><td>指定色</td></tr>
<tr><td>11</td><td colspan="2">附属品</td><td>電動送風機, PTCサーミスタ素子</td><td>減速機(ギャード)</td></tr>
</table>

表IV-3.6　【C 社】パワーコンディショナ盤仕様(1/2)

項　目			標 準 仕 様	準標準仕様
1	連系電源	電圧･周波数	50Hz　200V, 400V 60Hz　200V, 220V, 400V, 440V	6.6kV(高圧連系, 変圧器付)
		電圧変動	±10%	
		周波数変動	±5%	
2	定格	容量(連系端)	10～500kW	マイナス電源変動時 100%容量
		時間定格	連続　　マイナス電源変動時は減定格	
		過負荷耐量	150%　1分間	
3	構造	パネル構造	屋内閉鎖鋼板製自立形	屋外閉鎖鋼板製自立形
		通風方式	外気吸入･排気方式	
		配線接続方式	圧着端子による端子台接続	
		取付方法	据置脚取付	
4	収納機器	発電機用 インバータ	ED64SP シリーズを組込み 発電機及び自己保護機能内臓 HC 機能, シーケンス機能内臓 発電機オートチューニング機能内臓	
		連系用 インバータ	VF64G シリーズを組込み 連系への自動同期投入方式 系統電圧上昇自動抑制(SVC)機能付 自己保護機能内臓	自己運転機能
		系統接続用 遮断器	MCCB	漏電遮断機
		連系用開閉器	連系用開閉器とゲートブロックによる系統との解列	系統接続用遮断器と連系用開閉器による系統との解列
		コンソール (発電機用及び連系用インバータ各1)	(環境設定及び状態監視, 電力, 電圧, 電流, 周波数の一つ選択)	積算電力計, 電力計, 電圧計, 電流計, 周波数計, 回転数計
5	制御方法	発電機制御	高効率空間ベクトル制御 発電機センサレス制御 発電機の速度／トルク制御切替可能 トルクパターンによる自動制御 コンソールによる手動指令設定可能 発電機からの過大入力制限機能付	発電機センサ付制御 速度制御時のドループ量設定可能 速度、トルク指令の外部入力可能
		系統連系制御	電流歪最小化変調制御 　　総合 5%以内(定格出力) 　　各次高調波 3%以内	
			力率1制御　　99%以上(定格負荷)	力率設定可能範囲(-45°～+45°)
			電流制御	自立運転時は電圧制御
6	保護機能	発電機用 インバータ用	発電機過電流, 発電機過負荷, 直流部過･不足電圧, フィン過熱, IBGT 電源異常等	発電機過熱
		連系用 インバータ用	インバータ過電流, インバータ過負荷, ヒューズ断, フィン過熱, IBGT 電源異常等	
		系統保護用	過電圧検出 　　電圧設定範囲 100～130% 　　時間設定範囲 0～5 秒	
			不足電圧検出 　　電圧設定範囲 70～100% 　　時間設定範囲 0～5 秒	

表IV-3.6 【C社】パワーコンディショナ盤仕様(2/2)

項目			標準仕様	準標準仕様
7	保護機能	系統保護用	周波数上昇検出 上限設定範囲 0.1～9.9Hz 時間設定範囲 0～5秒	高圧受電時
			周波数低下検出 下限設定範囲-0.1～-7.9Hz 時間設定範囲 0～5秒	
			単独運転検出 能動方式 (無効電圧正帰還方式) 設定範囲 0.01～9.99Hz 設定範囲 1～9999msec 受動方式 (電圧位相跳躍検出方式) 設定範囲 0.5～20° 設定範囲 0～2sec	
			過電流検出 2相の個別検出器を組込	
			地絡検出 個別検出器を組込	
8	使用環境	周囲温度	0～+40℃	
		相対湿度	85%RH 以下	
		標高	1000m 以下	1000m 超過
		使用場所	屋内	屋外
		ガス・蒸気	有害な腐食性、爆発性ガスや蒸気のない場所	
9	塗装色		発電機 マンセル 5Y7/1	指定色

b　直流発電機

直流発電機（DG）は，交番起電力を整流子とブラシの整流作用によって直流としているもので，この整流子とブラシの保守が必要になり，相対コスト比は同期発電機と同程度であるが，永久磁石発電機と同様に単独負荷への供給にも適しており，励磁装置が不要で，簡易発電システムへの適用が期待できる。

直流発電機は直流電力であることから，交流電力で連系するにあたっては，電力変換器（INV）を必要とする。この点は，永久磁石発電機と同様である。

直流発電機は以下に示す用途に使用されている。

- 他励発電機：ﾜｰﾄﾞﾚｵﾅｰﾄﾞ方式発電機用，大型直流機，同期発電機励磁機用
- 分巻発電機：同期発電機副励磁機用，蓄電池充電用
- 直巻発電機：昇圧機用
- 複巻発電機：一般直流電源用，励磁機用，電車電源用

直流発電機の適用実績については，電源設備創生期において交流設備が主流になるまでの間に，火力発電設備に直流発電機が適用された記録がある。一方，水力発電設備ではマイクロ水力発電設備（出力 100kW 程度）に適用されている事例が幾つかあるのみで，その適用実績は少ない。

直流発電機の技術的課題を整理すると以下の通りである。

- 回転速度

  直流発電機は整流の問題があり，高速化には限界が生じる。通常，整流限界は電機子電流と回転速度の積で決定されるため，出力 500kW 級の発電機で定格電圧を 600V にして電圧を低減させても，その限界速度は 2,000min^{-1}程度であり，定格回転速度は 1,000min^{-1}が上限になる。

- 定格電圧

  電流が増加すると整流に支障が生じるために，一般的に定格電圧は 600V 程度である。また，無拘束速度まで回転速度が上昇すると，それに比例して誘起電圧が上昇するため，これに起因するフラッシオーバーを避けるため，電圧上昇を 115%程度に抑制する必要がある。

c　誘導発電機

誘導発電機（IM）は安価である反面，系統からの励磁電流供給がないと運転できないため，単独負荷への供給やブラックスタートはできない。また，始動時の突入電流が大きく，系統へ与える影響が大きいが，ソフトスタート回路等により，これらを低減することができる。なお，同期発電機に比べると構成部品が少なく構造も簡単，直流電源が不要で保守性も優れていることから，簡易発電システムへの適用には期待できる。

誘導発電機の主な特徴を同期発電機と比較すると，表IV-3.7 に示す通り整理される。

表IV-3.7　誘導発電機の特徴

特　徴	対　応
・　発電機の回転子はかご型であり，その構造は簡単	―
・　発電機の付属設備（励磁装置，自動同期装置）が不要	―
・　系統並列時の突入電流が大きく，系統電圧が瞬時低下する	ソフトスタート回路等
・　系統から励磁電流を受ける必要がある ・　励磁電流は出力により決まる ・　力率，系統電圧の調整が不可	力率改善用コンデンサ
・　単独負荷への供給不可 ・　ブラックスタート不可	コンデンサ励磁で可能とすることができる（海外で事例あり）

３．２．５　発電機型式別課題の整理と技術検討

簡易発電システムへの適用が望ましいのは，運転条件，保守性及び経済性（機器コスト）を考慮すると，前述したように永久磁石発電機，直流発電機，誘導発電機の 3 種別の発電機と考えられる。

【解説】

永久磁石発電機，直流発電機は電力変換器（INV）により電圧，周波数を制御する必要があることから，経済性に関しては発電機単体ではなく，INV を含めたシステムとして比較評価が必要である。

また，簡易発電システムにおいては，風力で実績の多い永久磁石発電機を水力へ適用することは，新技術に位置付けられること，水車と協調を図ることにより入口弁，調速装置等省略による機器簡素化との相乗効果によりコストダウンに向けた検討が必要である。

ここでは，以下に示す 6 構成を掲げ，個別にメリット・デメリットを掲げ，適用水車，保守性（構成部品点数），汎用性（電圧制御，単独始動の可否），経済性の面からの検討を加えて評価した。その結果，簡易発電システムに適した構成として，一次側 INV 方式の永久磁石発電機を上げている。また，保守性の合理化が図れれば，一次側 INV 方式の直流発電機も簡易発電システムに適した候補としている。

①システム構成 1：固定（または可動）羽根水車+同期発電機
②システム構成 2：固定（または可動）羽根水車+誘導発電機（ソフトスタート回路）
③システム構成 3：固定羽根水車+誘導発電機（一次側 INV 方式）
④システム構成 4：固定羽根水車+誘導発電機（二次側 INV 方式）
⑤システム構成 5：固定羽根水車+永久磁石発電機（一次側 INV 方式）
⑥システム構成 6：固定羽根水車+直流発電機（一次側 INV 方式）

この中で，在来設計である①及び②，簡易発電システムへの適用候補である⑤及び⑥の 4 システム構成について，保守性，経済性，課題，発電機性能（効率）等について比較検討することにした。ここで，二次側 INV 方式については，昨年度報告の中で，その制御が複雑で，非常に落差変動が大きく特殊な大規模水力や揚水発電所等への適用事例しかなく，簡易発電システムクラスへの適用は一次側 INV 方式が望ましいとする結論に至っていることから，検討対象外にすることにした。表Ⅳ-3.8 に各システム構成別比較を示す。

いずれも汎用性，信頼性の面では共通であるが，経済性の面からは励磁装置を必要とする同期発電機は他 4 システムに対して劣る傾向にある。永久磁石発電機，直流発電機は INV を必要とするが，簡易発電システムクラスの容量の場合は，汎用 INV の適用が可能であり，また，その普及も進んでいることから，低価格化の傾向にあり，システム全体としては同

期発電機に対して，機器簡素化と相俟って経済性が良好との結果を得た。なお，INV を含めた総合効率は低く，性能面では若干劣る傾向にある。

表IV-3.8　発電機型式別各システム構成比較表(1/2)

簡易発電システム 比較項目		かご形誘導発電機定速運転システム	同期発電機定速運転システム（直流励磁）	永久磁石同期発電機可変速運転システム	分巻直流発電機可変速運転システム
汎用性		･比較的多くの水力発電所において，適用実績がある。 ･単独運転には不適である。	･多くの水力発電所において，適用実績があるが，そのほとんどは汎用品ではなく，個別設計品対応である。 ･単独運転には適している。	･水力発電所向けには適用実績はほとんどない（出力７．５ｋWの系統連系していない実証試験機がある）。 ･励磁装置は不要である。 ･単独運転には適している。 ･他システムに比べて汎用性が高い。	･適用実績はほとんどない。 ･単独運転には適している。
経済性		◎	△	◎	○
	励磁装置	不要	必要	不要	不要
	インバータ	不要	不要	必要	必要
	励磁用変圧器	不要	必要	不要	不要
	その他	誘導発電機の種類：かご形	発電機として機器簡素化要素がない。	発電機は同容量及び同回転速度で比較して同期発電機より安価である。	発電機は同容量及び同回転速度で比較して同期発電機より安価である。
新技術の適用性		△ 新技術の適用はほとんどない。	△ 新技術の適用はほとんどない。	◎ 水力へ永久磁石同期発電機可変速システムを適用する。	○ 主回路にインバータを適用する。
実現性		◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 風力発電設備には適用実績があり，水力では出力７.５ｋWの系統連系していない実証試験機がある。	△ 水力発電所向けには適用実績はほとんどない(マイクロ水力発電設備に適用あり)。
信頼性		◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 風力発電設備には適用実績があり，水力では出力７.５ｋWの系統連系していない実証試験機がある。なお，運転実績は未だ短期間であることから，継続的な運転状況を確認する必要がある。	○ 水力発電所向けには適用実績はほとんどないが，直流電源用としての適用実績はある。
課題		･系統並列時に流れる突入電流の抑制 ･単独負荷への対応	･システムを構成する装置の低価格化	･高調波対策のための技術開発 ･単独負荷供給時の電圧変動対策 ･回転速度上昇時の過電圧保護対策	･高調波対策のための技術開発 ･単独負荷供給時の電圧変動対策 ･回転速度上昇時の過電圧保護対策
保守性		◎ かご形機であり，保守は容易	△ ブラシ保守が必要，なお，ブラシレス機を適用すればブラシ保守は不要	◎ 界磁巻線やブラシがなく保守は容易	△ ブラシ保守が必要
製造限界		小容量機から大容量機まで幅広いラインナップがある。	小容量機から大容量機まで幅広いラインナップがある。	インバータの経済性から，出力 500kW 程度が限界である。	出力 1,500kW 程度が限界である。

表IV-3.8　発電機型式別各システム構成比較表(2/2)

簡易発電システム／比較項目	かご形誘導発電機定速運転システム	同期発電機定速運転システム（直流励磁）	永久磁石同期発電機可変速運転システム	分巻直流発電機可変速運転システム
発電システムの機器構成	水車 IM ① ソフトスタート回路 系統 ② 制御･保護･系統連系保護 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	水車 SG ① 系統 調速装置 励磁用変圧器 直流励磁装置 ② 制御･保護･系統連系保護 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	水車 PMG ① インバータ 系統 ② 制御･保護･系統連系保護 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	水車 DG ① インバータ 系統 ② 制御･保護･系統連系保護 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}
発電機価格比① （同期発電機を１とした場合）	0.75	1.00	0.80	0.90
発電システム価格比② （同期発電機定速システムを１とした場合）	0.95	1.00	0.93	0.95
発電機効率比較				
発電機出力		力率 1.0	(　)内はＩＮＶを含む総合効率	(　)内はＩＮＶを含む総合効率
100%	92.5　(力率 84.5)	93.0	96.5　(91.5)	92.0　(87.0)
75%	92.0　(力率 81.5)	92.0	96.0　(89.0)	91.0　(84.0)
50%	91.0　(力率 74.5)	89.5	95.0　(85.0)	89.0　(79.0)
評価	○	○	◎	△
総合評価	◎ 経済性は有利であるが，単独運転は不適	○ 経済性は不利であるが，単独運転には適	◎ 経済性は有利であり，単独運転には適	△ 保守性は不利であるが，単独運転には適

[参考]　**発電機型式別課題の整理と技術検討（その２）**

永久磁石発電機，直流発電機，誘導発電機について，発電機種別毎の評価及び課題等について再整理し，価格比較，発電機性能（効率）について検討した。

【解説】

簡易発電システムへの適用が望ましいのは，運転条件，保守性及び経済性（機器コスト）を考慮すると, 永久磁石発電機, 直流発電機, 誘導発電機の 3 種別の発電機と考えられる。なお，永久磁石発電機，直流発電機は電力変換器（INV）により電圧，周波数を制御する必要があることから，経済性に関しては発電機単体ではなく，INV を含めたシステムとして比較評価が必要である。

また，簡易発電システムにおいては，風力で実績の多い永久磁石発電機を水力へ適用することは，新技術に位置付けられること，水車と協調を図ることにより入口弁，調速装置等省略による機器簡素化との相乗効果によりコストダウンに向けた検討が必要である。

ここでは，永久磁石発電機，直流発電機，誘導発電機について，発電機種別毎の評価及び課題等について再整理し，価格比較，発電機性能（効率）について検討した。

a　発電機システム構成比較

発電システムとして，以下に示す４構成を掲げ，保守性，経済性，課題，発電機性能（効率）等について比較検討することにした。

①システム構成 1：固定（または可動）羽根水車+同期発電機

②システム構成 2：固定（または可動）羽根水車+誘導発電機（ソフトスタート回路）

③システム構成 3：固定羽根水車+永久磁石発電機（一次側 INV 方式）

④システム構成 4：固定羽根水車+直流発電機（一次側 INV 方式）

いずれも汎用性，信頼性の面では共通であるが，経済性の面からは励磁装置を必要とする同期発電機は他 3 システムに対して劣る傾向にある。永久磁石発電機，直流発電機は INV を必要とするが, 簡易発電システムクラスの容量の場合は, 汎用 INV の適用が可能であり，また，その普及も進んでいることから，低価格化の傾向にあり，システム全体としては同期発電機に対して，機器簡素化と相俟って経済性が良好との結果を得た。なお，INV を含めた総合効率は低く，性能面では若干劣る傾向にある。

機器簡素化の観点から，調速装置の省略可否があるが，同期発電機に関しては定速運転させるために省略不可であるが，その他の発電機種別においては，水車型式により必要可否が異なるため，比較項目から対象外とした。

総合評価としては，誘導発電機または永久磁石発電機システムが簡易発電システムへの適用にあたって望ましい結果を得たが，簡易発電システムに求める消費形態の一つである「受電電力補完」の観点からは, 単独負荷への電力供給が必須であり, 単独運転が不可な誘導発電機システムよりも単独運転に適した永久磁石発電機システムの方の採用が見込まれる。

永久磁石発電機システムは,

①変流量特性に対して可動羽根水車に比較して安価な固定羽根水車で対応可能であること
②励磁装置が不要であり，更に調速装置の省略が可能（調速装置は水車型式によっては必要）で保守上有利であること
③電圧制御・単独始動が可能であり，その他の発電システムに比べて汎用性が高いこと
④低圧配電線への連系に際し，逆潮流の有無に関わらず連系可能であること

から，簡易発電システムへの適用を考えた場合，最も有力な候補と考えられる。一方，高調波抑制対策，単独負荷供給時の電圧変動対策，回転速度上昇時の過電圧保護対策を講じる必要がある。

b　永久磁石発電機，インバータ

永久磁石発電機（PMG）は，風力発電の分野に多く適用されつつあり，インバータとの組合せによって，①発電状態に応じた高効率運転が可能，②系統連系にあたって安定した電圧，周波数に変換できることから，簡易発電システムへの適用可能と考えられる。ここでは，簡易発電システムへ適用するにあたり，風力発電と比較したシステム構成の相違点を整理し，また，インバータの高調波抑制及び過電圧保護対策について調査・検討した。

表IV-3.9は風力発電システムと簡易発電システムの相違点を示す。比較項目としては，速度調整方法，過速度対策，速度上昇時におけるインバータ過電圧対策を列記した。風力発電では問題となる要素がなく，風力発電での仕様をそのまま簡易発電システムへ適用する場合には，対策を施す必要がある。

表Ⅳ-3.9　風力発電システムと簡易発電システムとの相違点

比較項目	風力発電システム	簡易発電システム
速度調整方法	必要	必要
過速度対策	インペラに風があたらないようにピッチ制御することで速度上昇を回避	負荷遮断時は速度上昇が発生するため，下記の対策が必要 1．水車にガイドベーン（GV）を設ける 2．上流側または下流側に入口弁，ゲート等の止水設備を設ける 3．水車と発電機の伝達機構を切り離す機構を設ける（例えば過速度時に連結ベルトが自動的に外れる機構）
速度上昇時における過電圧対策	速度上昇がほとんどないため必要なし	負荷遮断等で発電機の回転速度が上昇する場合は，過電圧も発生するため，上記過速度対策のほか，発電機及びインバータ等に対して以下の対策が必要 1．発電機定格電圧が 200V の場合に，連続仕様で約 2 倍の 400V 耐圧の固定子コイルを有する発電機仕様とする 2．電磁接触器等により，発電機をインバータから切り離す 3．インバータ素子の耐圧は通常の 2 倍程度の仕様とする 4．系統連系しない場合における負荷の選定として，電圧変動しても支障ない負荷とする必要がある

永久磁石発電機の無拘束速度時における制限事項については，機器製作者より下記に示す項目が掲げられている（前述，開発動向調査【C 社】）。

発電機，インバータの制限事項

□許容最高回転速度は，最高回転速度の 125%，1 分間

□絶縁は最高 AC600V（定格：AC190V または AC380V）

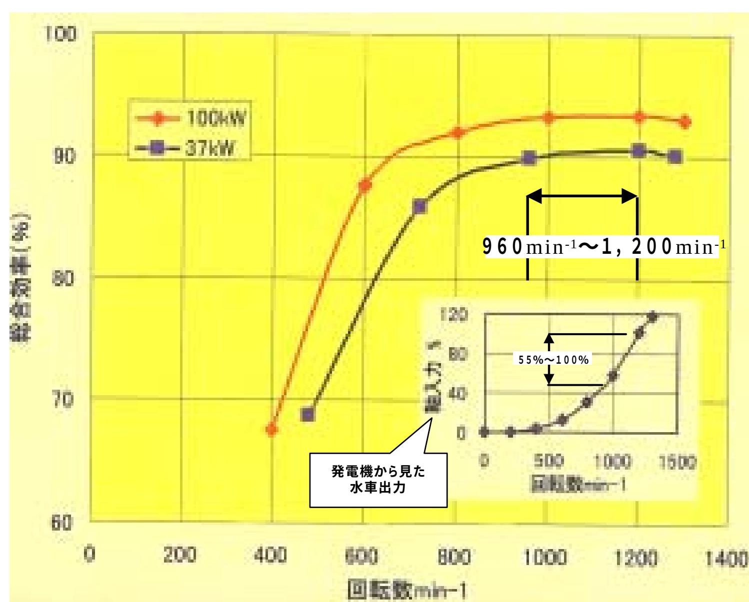
□インバータ素子は，最高 AC500V

永久磁石発電機の仕様は，JEC-2100（1993）「回転電気機械一般」にもとづき，過速度については「最大定格回転速度の 120%」を満足しているが，簡易発電システムでは無拘束速度 180～220%に至る可能性もあるため，永久磁石発電機を適用する場合は，これを克服する仕様としなければならない。

ここで，主回路及びインバータについては無拘束速度時に発電機から切り離すことにより保護できるが，発電機は回転速度に比例して上昇する電圧，機械的強度に耐えなければならない。

【C 社】永久磁石発電機標準仕様は，出力一定速度範囲が 1,200min^{-1}～1,600min^{-1}であることから，JEC にもとづき最大定格回転速度 120%の 1,920min^{-1}まで無拘束速度が許容できる。このため，半分の回転速度である 960min^{-1}を定格回転速度に設定すれば，無拘束速度 200%と同等の仕様になる。

なお，本来の定格回転速度以下での運転は，①発電機効率等の性能低下，②目標とする出力が得られない等の問題点がある。図Ⅳ-3.22 は【C 社】永久磁石発電機システムの総合効率を示したものである。これを見ると，960min^{-1}～1,200min^{-1}の範囲において，著しい効率低下は見られない。また，出力は定格回転速度を低く押さえる分だけ目標とする出力が得られないことから，図Ⅳ-3.22 内の回転速度に対する軸入力の関係から，1.82（軸入力 100%→55%に低下するため，0.55^{-1}）を乗じた定格を有する発電機を選定する必要がある。



図Ⅳ-3.22　【C 社】永久磁石発電機システム　総合効率

200%無拘束速度時電圧は，190V×2＝380V＜600V（絶縁耐力は 1,500V）であり問題ないが，定格電圧 380V を採用する場合は，600V/380V＝1.6 であり，無拘束速度をこれ以下に押さえる必要がある。

発電機無拘束速度を回避するために，水車との伝達機構を切り離す機構（ベルト外し，ギアクラッチ等）を設ける方法も考えられるが，その構造が複雑で，コストアップにも繋がることから，実用化されている事例はない。

なお，実用的には起動やメンテナンス用，下流域への異常放流回避等のために，

重錘閉鎖装置付入口弁等の止水設備を施設するケースが多いと考えられ，これに流水遮断機能を持たせることにより，無拘束速度を回避することができる。

INV は GTO(Gate Turn Off Thyristor),IGBT(Insulated Gate Bipolar Transisitor)等の半導体素子のスイッチング動作により，直流を交流に変換する装置である。このため，このスイッチング動作に起因する高調波抑制対策，発電機の一次側に INV を設置することによる回転速度上昇時における INV 素子過電圧保護対策を施す必要がある。

表Ⅳ-3.10 は INV 適用時の課題，対策について整理したものである。

表Ⅳ-3.10　INV 適用時の課題，対策について

ＩＮＶ適用時の課題	対　　策	補　　足
高調波抑制	パルス幅制御形（ＰＷＭ）ＩＮＶの採用 小中容量ＩＮＶに適用される方式で，一般にＩＧＢＴが使用される。ＣＯＮＶ部は周波数制御と電圧制御をパルス幅変調（ＰＷＭ）して行う。ＩＮＶ部はＰＷＭ制御により，電流を正弦波化して高調波を抑制すると同時に高力率（ほぼ１）制御を行う。 なお，ＩＧＢＴを使用したＩＮＶは，スイッチング周波数が高くできるので，特別な高周波抑制フィルタは不要である。	電流制御形ＩＮＶと比較すると，効率は若干落ちるものの，高調波はほとんどない。
回転上昇時の過電圧	定格電圧の２倍以上の耐圧素子を適用する。または，電磁接触器により発電機をＩＮＶから切り離す。	―
回転上昇抑制	ダミーロードを設ける。 連続運転する場合には，抵抗器等で放熱する。	―
単独運転	余剰エネルギーをダミーロードで放熱し，発電機回転速度を一定に保つように制御する。	―

c　直流発電機

直流発電機（DG）のシステム構成はインバータ（INV）を必要とすることから，永久磁石発電機と同様な過電圧保護対策を施す必要がある。また，直流発電機には整流作用のために必要な整流子，ブラシがあるため，保守面で経済性が劣る。

直流発電機は単独負荷への供給にも適しており，励磁装置が不要で，簡易発電システムへの適用を考え，以下の事項を検討したが，永久磁石発電機システム等に比べ，余りメリットがないと判断された。

①直巻式直流発電機の採用

直巻式の巻線は 1 種類（固定子コイル及び界磁コイルが同一コイル）となり，始動時に大きな始動トルクを必要とする場合（クレーン，エレベータ等）に適用されるが，これを発電機用として適用するには技術的検討要素が多いと考えられる。

②ブラシレス化

小容量機の直流発電機ではブラシレス機が存在する。ただし，これらはその構造から永久磁石発電機とほぼ同等であり，直流発電機のブラシレス化を図ることは，永久磁石発電機の適用と同じである。

d　誘導発電機

誘導発電機(IM)は他の発電機種別に比較して構造が簡単で保守性に優れており，安価であることから，コストダウンに向けた簡易発電システムへの適用が期待されるが，単独負荷への供給やブラックスタートができない。このため，以下の検討を行った。

①単独運転の可能性

誘導発電機で単独負荷への供給やブラックスタートを可能にする方法として，誘導発電機へ励磁電流を供給するコンデンサを接続する方法がある。

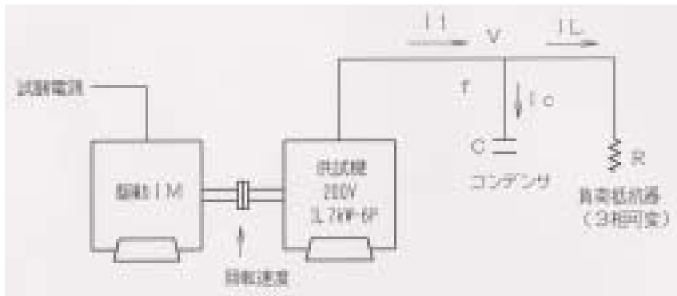
水車により駆動される誘導発電機に適当なコンデンサを接続すると，残留磁気で電圧が発生する「コンデンサ自己励磁現象」を利用するものである。巻線の誘起電圧と電流は，誘導発電機の磁気飽和で抑制されるレベルまで増加し，この状態で負荷を接続すると，発電機として電力供給が可能になる。また，コンデンサは励磁分の無効電力も供給する。しかし，電圧及び周波数が回転速度，コンデンサ容量，負荷容量等によって大きく変動することから，これを克服するための技術検討が必要である。

②試験結果概要，事例紹介

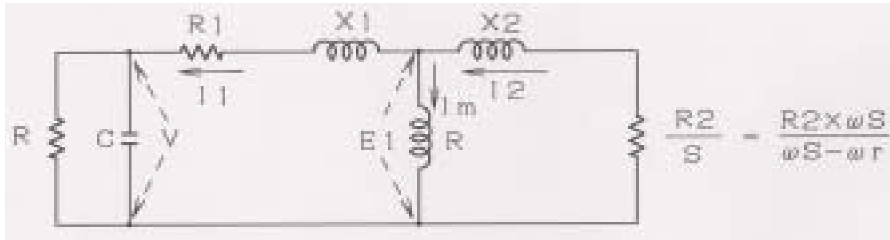
機器製作者では，誘導発電機に適当な容量のコンデンサを接続し，試験運転を実施している。このコンデンサ励磁誘導発電機の供試機概要を表IV-3.11，試験装置概要を図IV-3.23，等価回路図を図IV-3.24 に示す。

表IV-3.11　供試機概要

供試機	型式：誘導発電機 定格：3.7kW-6P-200V-50Hz
コンデンサ	400V 級 3 相進相コンデンサ
負荷	3 相可変抵抗器



図IV-3.23　試験装置概要



図IV-3.24　等価回路図

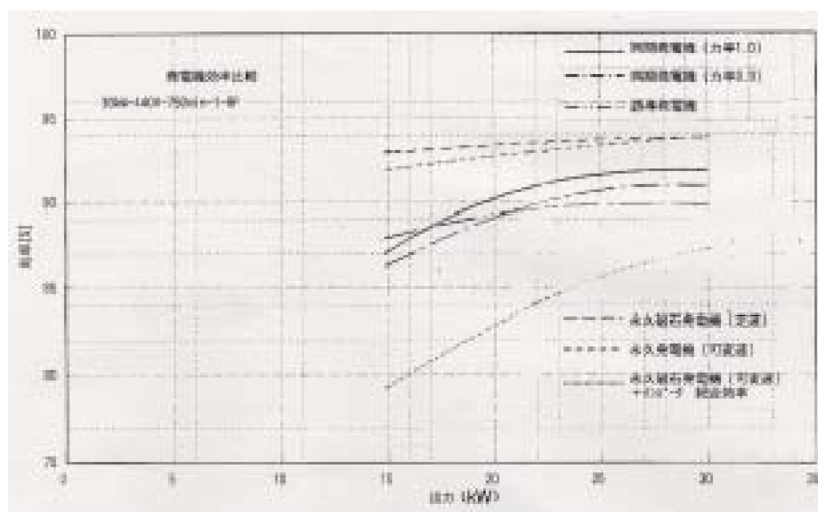
試験結果は以下の通りである。

- コンデンサを接続することにより，誘導発電機の運転は可能
- 出力を得るためには，コンデンサ容量増加
- コンデンサの定格電圧は無拘束時を考慮して発電機電圧の 2 倍程度，または定格回転速度（または定格電圧）以上となる場合に，回路から切り離す開閉器が必要
- 発電用としては，負荷時コンデンサ容量で電圧調整が必要

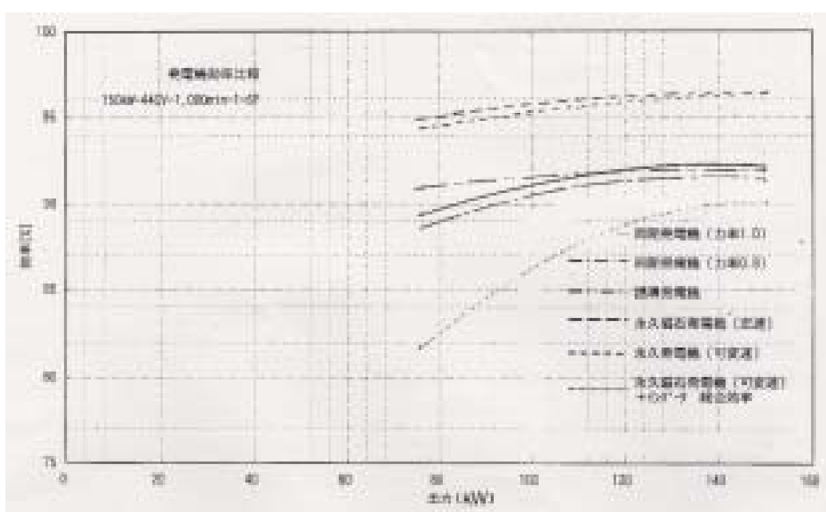
e　発電機特性（効率カーブ）

発電機効率は水車効率との積により,年間発生電力量に影響を与える要素であり,発電機種別により異なること，また，永久磁石発電機及び直流発電機を使ったシステムでは発電機一次側（系統側）に電力変換器（INV）が設置されるため，INV 効率も重要な要素である。

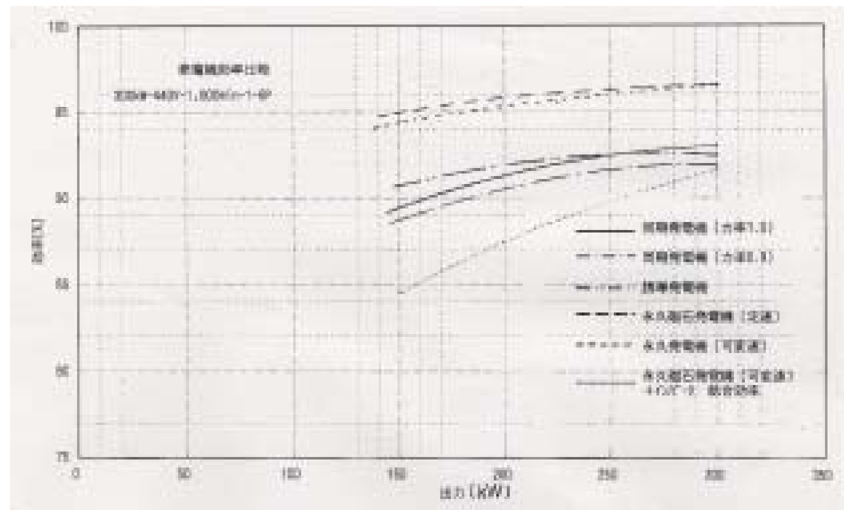
図IV-3.25～27 は同期発電機，誘導発電機，永久磁石発電機及び永久磁石発電機+INV について，出力別（30kW，150kW，300kW）に発電機効率カーブを比較したものである。電圧 440V,6 極の仕様は共通で,回転速度は 30kW で 750min^{-1},150 及び 300kW では 1,000min^{-1}とした。



図IV-3.25　発電機効率比較(30kW-440V-750min^{-1}-6P)



図IV-3.26　発電機効率比較(150kW-440V-1,000min^{-1}-6P)



図IV-3.27　発電機効率比較(300kW-440V-1,000min^{-1}-6P)

簡易発電システムに適用される規模での発電機効率の比較であるが，各発電機単体としての効率は出力別に関わらず，同期発電機や誘導発電機に比較すると，永久磁石発電機が概ね3〜4%高い傾向を示す。

同期発電機と誘導発電機での比較では，この規模ではほとんど変わらず，誘導発電機の方が部分負荷で1〜2%程度高い程度である。

永久磁石発電機+INVシステムでは,同期発電機や誘導発電機に比べて概ね3〜4%低い傾向を示し，部分負荷領域においては，最大で5〜6%低くなる。これはINV効率低下による影響であり，INV システムを採用する場合は，運転点を最大出力点に合せ，部分負荷運転を要求しない地点への適用が見込まれる。

[参考]　**永久磁石発電システム事例**

> 永久磁石発電機システムは，その事例が少ないことから，簡易発電システムへの適用にあたり，その運転制御方法について検討する必要がある。

【解説】

ここでは, モニタリング調査したＴＳ社の実証試験設備, 風力発電での適用事例を調査・検討した。

（1）ＴＳ社の実証試験設備

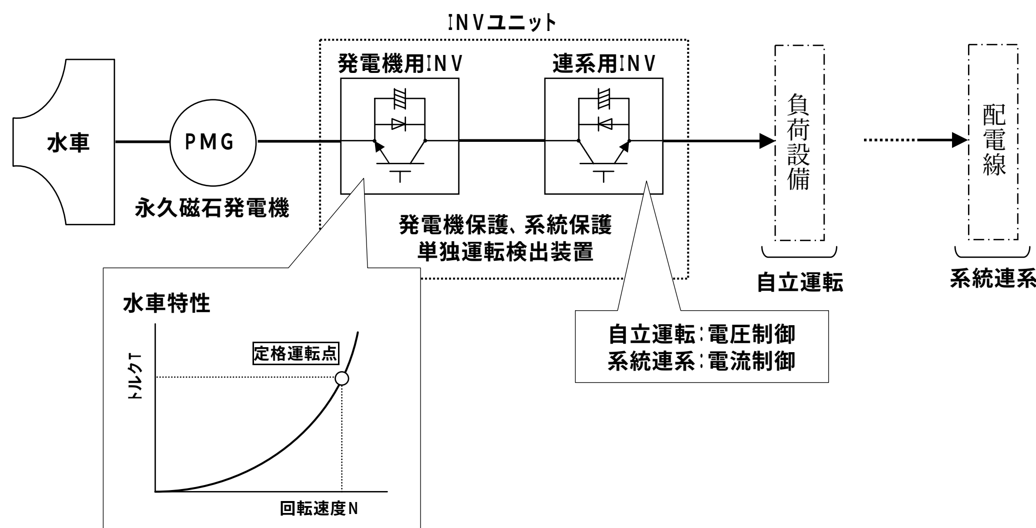
永久磁石発電機システムの実証試験を実施しているＴＳ社では，前述した直交軸流型水車と組合せ，農業用落差工で実証試験運転を進めている。

実証試験での運転形態は系統に連系しない自立運転であり，その運転制御方法は流量と負荷に応じた可変速制御である。流量はほぼ一定で変動は少ないが，負荷変動により回転速度が増減する受動的な制御がなされている。

ここでは，この実証試験設備を系統連系した場合を想定し，その運転制御方法について調査・検討した。

ａ　設備概要

図Ⅳ-3.28 に実証試験設備の回路構成を示す。永久磁石発電機及びパワーコンディショナ（発電機用 INV＋連系用 INV）には，ＴＹ社の製品が適用されている。発電所出力は 5kW であるが，発電機定格は 7.5kW が選定されている。

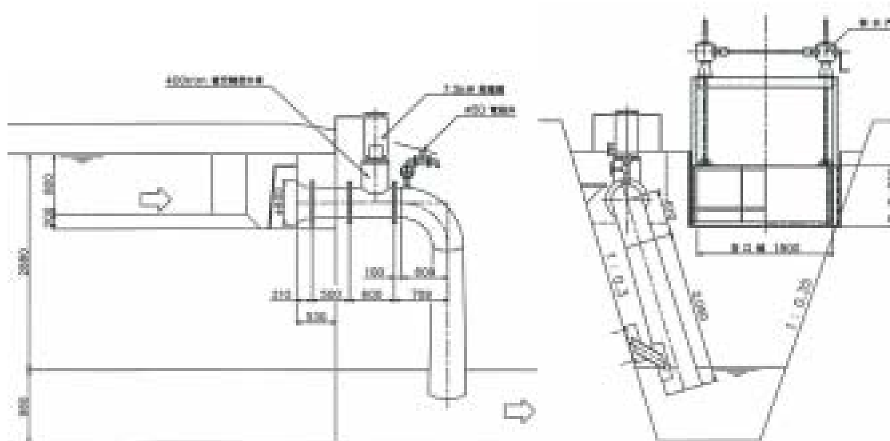


図Ⅳ-3.28　実証試験設備の回路構成

INV ユニットであるパワーコンディショナには，発電機保護のほか系統連系に必要な系統保護，単独運転検出装置が内蔵されている。発電機用 INV には水車特性として，回転速度に対するトルク特性が入力されており，水車・発電機はこの特性上で可変速運転が行われる。

連系用 INV は発電設備を負荷又は配電線と連系させるための制御を担うが，自立運転では電圧制御，系統連系では電流制御に切替える仕様となっている。実証試験設備は，系統に連系しない自立運転の仕様である。

図IV-3.29 に，実証試験設備の構造図を示す。当該設備は農業用落差工に適用され，その水理諸元は，落差 1.5～2m，流量 0.3～0.5m³/s である。



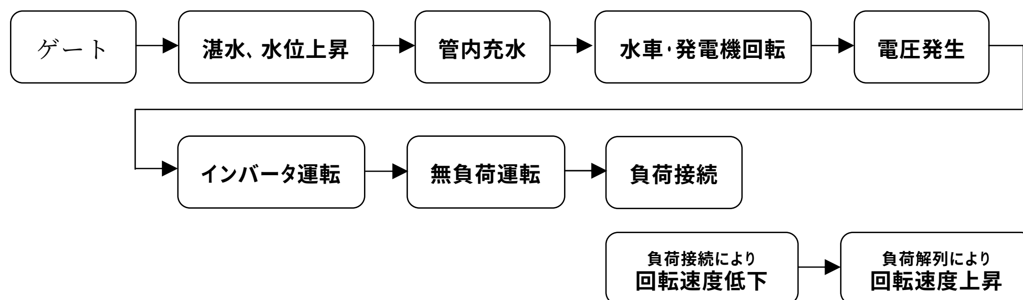
図IV-3.29　実証試験設備の構造図

b　運転制御フロー

①自立運転

実証試験設備は，ほぼ定落差・定流量の水理諸元であり，自立運転である。このため，接続される負荷に応じて回転速度が変動する，可変速運転としては受動的な制御がなされる。負荷追従により，回転速度は結果として得られている。

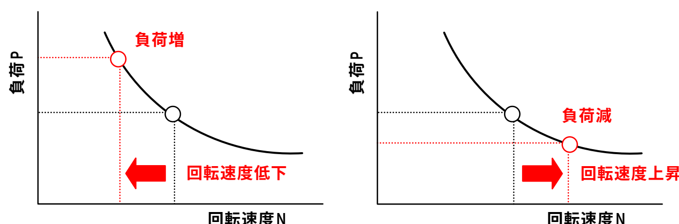
仮に，接続された負荷が一定で，落差又は流量が変動した場合も，回転速度が変動することにより制御される。これは，可変速運転による調速制御であり，ガイドベーン等の流量調整機構，ダミーロード等を不要にしている。



図IV-3.30　自立運転の運転制御フロー

図IV-3.30 は，実証試験設備である自立運転の運転制御フローを示したものである。当該設備は流量調整機構を有さないため，水位が上昇して管路内が充水されると水車・発電機は自動起動する。

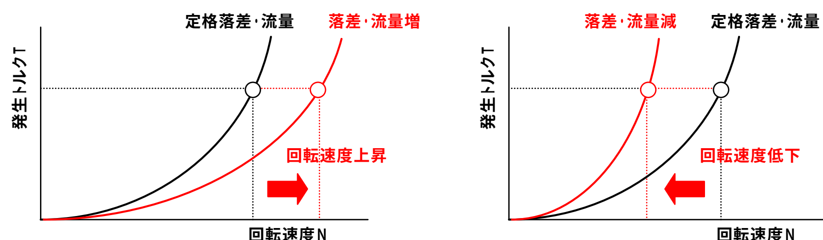
落差や流量が一定で接続負荷に応じて回転速度が変動するのは，負荷の増大に対して一時的に水車・発電機が慣性エネルギーを放出することにより回転速度が減となり，一方，負荷が減少した場合は慣性エネルギーを吸収することにより回転速度が増となるためで，図IV-3.31 に示す回転速度Ｎに対する負荷Ｐとの関係から説明することができる。



図IV-3.31　接続負荷に応じた回転速度の関係

自立運転では，接続負荷が一定で落差又は流量が変動した場合も，回転速度が変動することにより制御されるが，これは図IV-3.28 に示す発電機用 INV に入力されている回転速度Ｎに対する発生トルクＴとの関係から説明できる。

落差又は流量が変動すると，定格運転点が移動するが，接続負荷が一定で発生トルクを一定に保つ必要があることから，結果として回転速度が変動する。この関係を図IV-3.32 に示す。

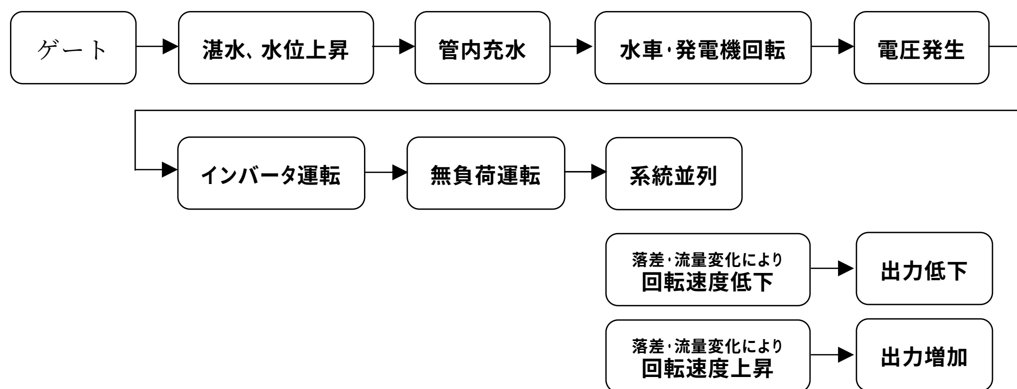


図IV-3.32　落差又は流量変動に応じた回転速度の関係

②系統連系

自立運転である実証試験設備を系統連系した場合の運転制御フローを想定する。ここで，ＴＹ社のパワーコンディショナは，系統連系に必要な保護装置，単独運転検出装置を内蔵しているため，システム構成に変更はない。

図IV-3.33 に想定した運転制御フローを示す。系統連系しているため，インバータ運転が先でも構わない。これを見ると，系統並列までは自立運転の運転制御フローと変わらない。なお，接続される負荷が固定されないため，回転速度に影響を与える要素は落差・流量変化のみである。



図IV-3.33　系統連系の運転制御フロー

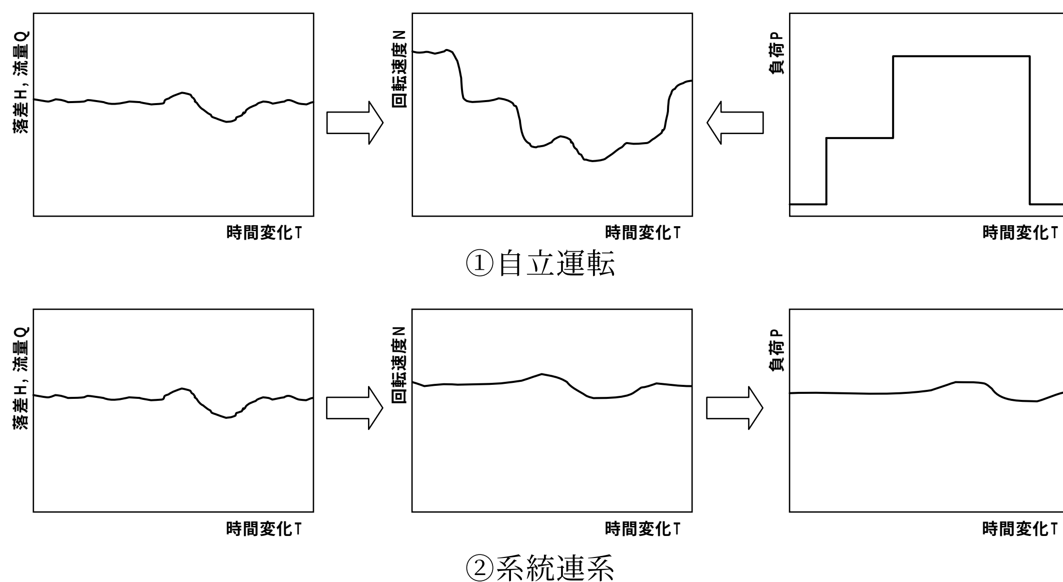
系統連系の場合は，発電機用 INV により水車・発電機は落差・流量に応じた最大出力制御が行われ，最高効率点となる回転速度で運転される。このため，出力は結果として得られる。落差・流量が大きく変動すれば出力も大きく変動する。

水位調整運転や部分負荷運転など出力一定制御とする場合，この可変速による最大出力制御では対応できないので，別途，流量調整機構が必要となる。

c　運転トレンド（例）

前項までの説明から，永久磁石発電機＋INV システムの自立運転，系統連系それぞれの運転トレンドは，図IV-3.34 のように示される。

自立運転では落差H，流量Q，負荷Pにより，結果的に回転速度Nが変化するのに対し，系統連系では落差H，流量Qにより最高効率点となる回転速度Nが選定され，結果的に負荷Pが変化する。



図IV-3.34　運転トレンド（例）

風力発電では短時間に風速が大きく変動するため，出力もこれに追従して大きく変動し，電力品質に影響を与える可能性があるが，水力発電における落差又は流量の変化は比較的ゆっくりしていることから，ここで示した制御方式であっても，電力品質に悪影響を与える可能性は低いと考えられる。

（2）風力発電での適用事例

風力は環境に優しい再生可能なエネルギー源として注目され，風力発電システムの導入が飛躍的に進んでいる。中型・大型風力発電システムとして，翼回転をギヤで増速し，誘導発電機を駆動する定速発電が主流であるが，ギヤによる騒音の発生や定速運転による大きな出力変動の発生等の問題がある。

このような問題を解決するために，風力発電機として多極の永久磁石発電機を使用した直接駆動方式の可変速風力発電システムが実用化されている。これは，ギアレス化により機械騒音が低減し，逆変換装置による可変速制御により，低風速域での発電性能向上，出力変動や突入電流の低減が実現できる。

図Ⅳ-3.35 は，M社が製作した永久磁石発電機と可変速システムを適用した風力発電設備である。ピッチ制御，可変速制御，ギアレス構造と永久磁石式多極同期発電機を採用している。また，表Ⅳ-3.12 にこの仕様諸元を示す。実績としては 2000 年 7 月に出力 300kW を初号機とし，現在までに 10 基程度が稼動している。



図Ⅳ-3.35　M社風力発電設備（永久磁石発電機）

表IV-3.12　M社風力発電設備（永久磁石発電機）仕様諸元

項目		MWT-S300	MWT-S600	MWT-S2000*2
型式		可変速同期型	可変速同期型	可変速同期型
定格出力[kW]		300	600	2000
ロータ径[m]		30	45	75
回転速度[min-1]		16～46	10～34	8～24
定格風速[m/s]		14.5	13.0	13.0
Cut-in 風速[m/s]		2.5	2.5	2.5
Cut-out 風速[m/s]		25.0	25.0	25.0
耐風速[m/s]		60.0	60.0	60.0
発電機	型式	永久磁石式同期発電機	永久磁石式同期発電機	永久磁石式同期発電機
	電圧[V]*1	400	600	600
	周波数[Hz]*1	50/60	50/60	50/60
	回転速度制御*1	IGBT 方式	IGBT 方式	IGBT 方式
	突入電流*1	無	無	無
	力率*1	1	1	1
ハブ高さ[m]		30	37	60

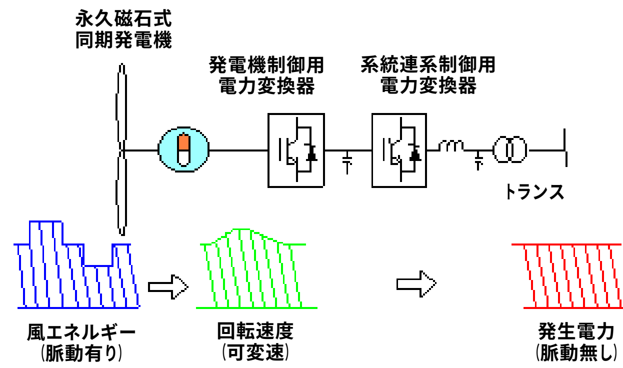
*1:電力変換器（インバータ・コンバータシステム）
*2:実証試験中

この永久磁石発電機を使用した可変速風力発電システムは，運転制御方法に次のような特徴を有している。

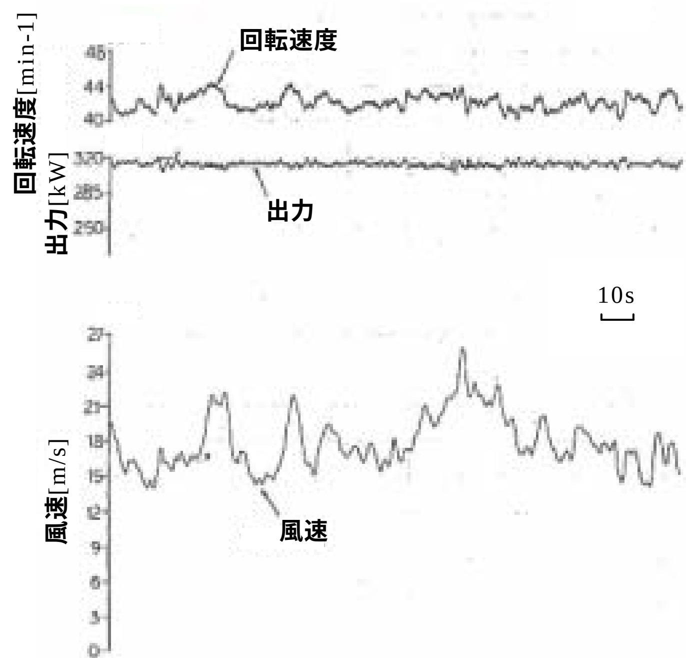
1)　定格風速を超える高風速時（突風時）には，風車の回転速度を上げることで脈動する風のエネルギーを吸収し（軸の回転エネルギーとして蓄積），逆に低風速時には回転エネルギーを放出することで発電機出力を補い，脈動の少ない安定した電力が供給できる。

図IV-3.36 に，出力変動平滑化の概念図を示す。また，図IV-3.37 には出力変動平滑化のトレンド（例）を示す。風速の増減に応じて，能動的に回転速度が増減することで，出力が一定に保たれている。

定速機では，翼角度を変更するピッチ制御や翼の失速特性を利用したストール制御により出力の平滑化が図られて来たが，頻繁に変化する風速変動や乱流に対して完全な制御が困難で，大きな変動を伴った出力となる欠点があった。



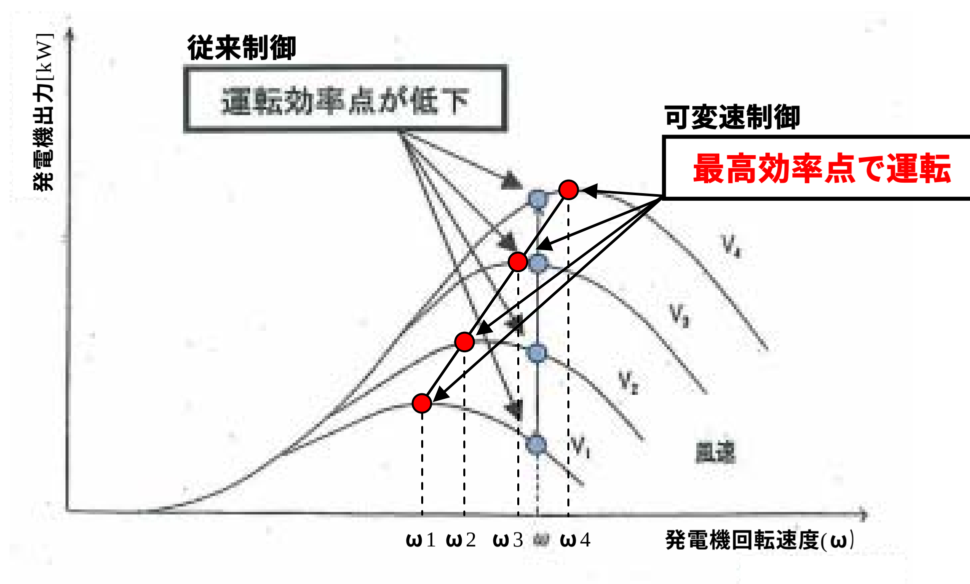
図IV-3.36　出力変動平滑化（概念図）



図IV-3.37 出力変動平滑化のトレンド（例）

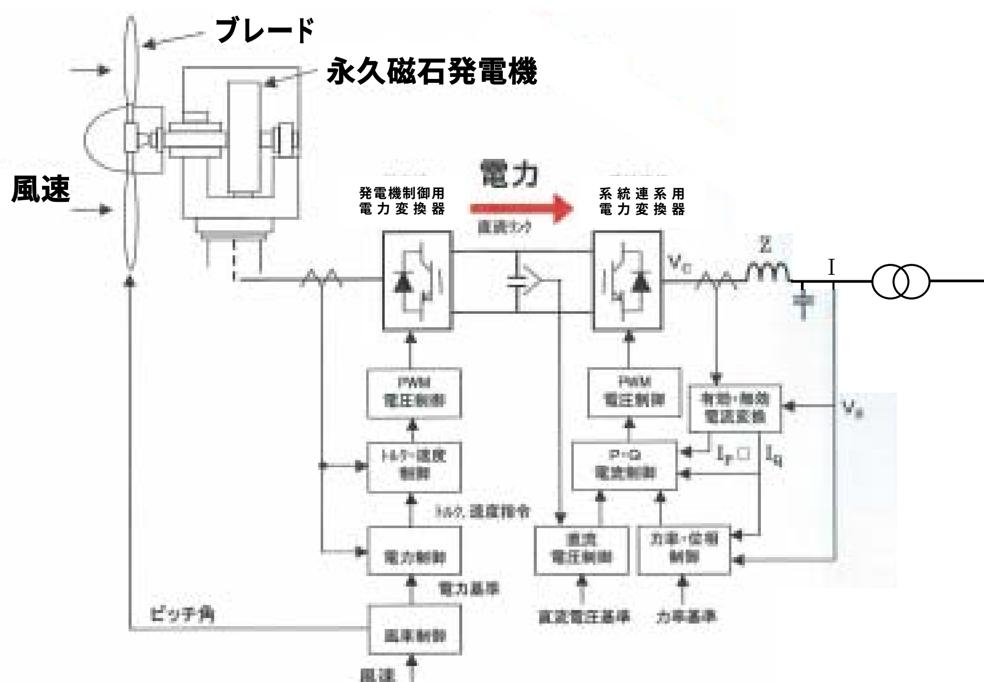
2)　**低（高）風速時に発電効率が下がらないように，回転速度を下げる（上げる）**制御により，風のエネルギーを効率良く電力に変換する。

図IV-3.38 に従来機との効率比較を示す。可変速制御は高効率運転が可能となり，従来の誘導発電機に比較して，発電機単体で 7%程度（85%→92%）の効率向上が見込まれ，発生電力量の増大が期待できる。



図IV-3.38　運転効率の比較

図IV-3.39 に可変速風力発電システムの制御ブロック図を示す。ここで，発電機制御用電力変換器では，発電機で実際に発電される電力を制御する。



図IV-3.39　可変速制御ブロック図

発電電力の制御方法としては，発電機電圧が回転速度に比例することから，発電機電流を制御することにより行われる。これを数式で示すと下記の通り。

電力指令

P＝回転速度（ω）×トルク（τ）

一定　制御

＝回転速度（ω）×トルク係数（k）×磁束（φ）×発電機トルク電流（Iq）

系統連系用電力変換器は，系統連系にあたっての有効電力，無効電力（電圧）を制御する。この系統連系用電力変換器は電圧型であり，電流指令と出力電流の偏差を増幅し，出力電流が電流指令に一致するように電圧を制御している。

ここで，前項の実証試験設備との違いを比較すると，実証試験設備のパワーコンディショナは，図Ⅳ-3.39 に示す「トルク，速度指令」が外部入力となっており，基本的に「電力基準」を持たない。このため，外乱（風力では風速，水力では落差・流量）の影響により，出力変動が発生する。

風力発電では短時間に風速が変動するため，この出力変動が電力品質に影響を与える可能性がある。M社の可変速制御では，この出力変動を積極的に抑制するように平均風速から電力基準値を設定し，この結果，回転速度は目標とする値に結果的に収束させる制御がなされている。

３．３　制御・保護装置

制御・保護装置は，適用施設や地点特性，運転条件（系統連系，単独負荷への電力供給等の運転区分）に負う要素が少なく，基本的には仕様を満足できる汎用品を組み合せることによるコストダウンの実現性が高い。また，制御・保護装置は一般産業分野での技術開発も目覚しいものがあることから，この分野からの適用が期待できる。

【解説】

なお，制御装置では，水車型式，発電機種別との協調を図る必要があり，保護装置は関係法令で定められたものを最低限施設する必要があることから，コストダウンを図るからと言って，信頼性低減に繋げてはならない。また，メンテナンスやランニングコストは水車，発電機と同様に保守性及び経済性を考慮する必要がある。

３．３．１開発動向調査

機器簡素化，合理化によるコストダウンの観点から，簡易発電システムの制御・保護装置には，汎用的な一般産業用 PLC の適用が考えられる。

【解説】

ここでは，一般産業用 PLC の仕様と電力用仕様の比較及び一般産業用を適用するにあたっての考え方，機器製作者が商品化している簡易制御・保護装置の基本仕様及び系統連系にあたって必要となる単独運転検出装置の基本仕様について調査した。

a　一般産業用 PLC の基本仕様とその適用

一般産業用 PLC（Programmable Logic Controller）は，電力用仕様と比較して外観及び性能とも大きな差異はない。表Ⅳ-3.13 に一般産業用コントローラの電力用コントローラとの比較仕様一覧を示す。一般産業用は JIS-B-3502 に準拠しているのに対して，電力用は電気協同研究（第 57 巻第 5 号）にもとづいている。ここで，一般産業用コントローラが電力用コントローラと異なる点を整理すると，概ね以下の通りである。

○電圧変動範囲（制御電源，入出力回路等）が狭い。
○配線及び端子台サイズが小さい。
○商用周波耐電圧値が 1,500V である。
○水力発電所機器向けのインターフェイスが少ない。
○保守性を向上させるために，故障時はユニット交換を基本としている。
○取扱説明書，完成図書類は標準仕様で整備されている。

電圧変動範囲に関しては，補助装置の設置が必要になるが，信頼性の面でも電力用コントローラと遜色は見られず，簡易発電システムへの適用にあたって，大きな懸案事項はないと考えられる。

ここで，一般産業用コントローラは標準仕様機器であることから，非標準仕様への個別対応は無理としているが，簡易発電システムにおける制御・保護装置では基本的な主機起動・停止と標準保護（単独運転検出装置等は除く）のみで，特殊仕様は考えないことから，一般産業用 PLC を簡易発電システムへ適用するのは可能である。

表Ⅳ-3.13　一般産業用コントローラの電力用コントローラとの比較(1/2)

	項　目	一般産業用コントローラ仕様	電力用コントローラ仕様	説　明
1	準拠規格類	JIS B 3502（注 1）に準拠したものが製品化されている 以前は JEIDA-29（注 2）などの指針によっているが，製品により異なる	電協研水力仕様（注 3）に準拠	プログラマブルコントローラ単体の規格はない 電協研水力仕様は一般産業用コントローラ単体では満足できないが，合理化策では一般産業用の適用を前提としている
2	制御電源 電圧変動範囲	JIS B 3502 では， 直流：定格電圧の-15%～+20% 交流：定格電圧の-15%～+10% 定格電圧は AC110V，AC220V 及び DC24V の製品が多く，DC110V も製品化されている	直流：90V～140V 以内 交流：95V～125V 以内	コントローラ単体の定格電圧は，DC110V に限定せず，無停電電源装置が設置されている場合は，交流定格のコントローラも適用可能である 電協研水力仕様では合理化できないとして，仕様を満足できる補助装置の設置が必要である
3	周囲温度	JIS B 3502 では，コントローラ単体（開放型装置）の直下で+5℃～55℃	装置(盤)の周囲温度 0℃～40℃ ただし，-10℃～+50℃を1日に数時間程度許容し，結露･氷結しない状態	電協研水力仕様の合理化策では，結露･氷結しない状態のみを適用
4	相対湿度	JIS B 3502 では，次のいずれか一つを選択 レベル RH-1：50%～90% レベル RH-2：5%～95%	日平均で 30%～80%	JIS B 3502 のレベル RH-1 では，静電放電ノイズレベルが低い値となるが，装置(盤)に収納した状態では電協研水力仕様を満足できると判断する
5	冷却方式	現状でも多くの製品が自然冷却	自然冷却を標準	差異はない
6	裏面配線の太さ	入出力ユニットの端子には，1.25mm² までの太さの配線が接続可能であるが，2.0mm² の配線は圧着端子の種類によっては接続できない場合がある	一般配線の太さは 2.0mm² を基本とするが，入出力ユニットに直接接続される配線の太さは、ユーザーとメーカー間で仕様を決定	電協研水力仕様の合理化策では，サイズ統一を図った方が経済的とし，合理化する必要はないとしている
7	端子台	入出力ユニットの端子には，1.25mm² までの太さの配線が接続可能であるが，2.0mm² の配線は圧着端子の種類によっては接続できない場合がある	5.5mm² を基本とするが，これにより難い場合は，ユーザーとメーカー間で仕様を決定	電協研水力仕様の合理化策では，サイズ統一を図った方が経済的とし，合理化する必要はないとしている
8	塗装	JIS B 3502 では，色彩についての規定はなく，一般産業用製品では塗装色を個別に指定することはできない	盤内収納器具のフレーム，カバーなどの金属露出部は，5Y7/1 か 7.5BG6/1.5	標準塗装色
9	商用周波耐電圧	JIS B 3502 では，標準絶縁耐力試験の方法は従来と異なるが，従来の交流 1 分間耐電圧試験（2×定格電圧+1,000V）も認められている。	装置（盤単位）で， 60V 以下：500V　1 分間 60V 超 600V 以下：2,000V　1 分間 ただし，60V 以下の半導体応用製品や高感度計測器は検査対象外	JIS B 3502 の標準絶縁耐力試験では，3 種類の試験方法から一つを選択することとなっており，試験電圧値に標高補正がある
10	耐ノイズ （電波ノイズ）	JIS B 3502 では，放射電磁界 10V/m という電界強度での規定	トランシーバ，移動電話などについて定められた出力と周波数帯域においてアンテナ先端を接近させて試験し，誤出力のないもの	電協研水力仕様の合理化策では，JIS 規格によることとし，単体についての規定は行わないとしている
11	突入電流	JIS B 3502 では規定がないため，製品により 10～20 倍程度	制御電源の開閉に伴い，過渡的に発生する最大電流値は電源定格の 5 倍以下	電協研水力仕様の定格の 5 倍以下を満足するためには，電源装置を別置するなどの対策が必要

表IV-3.13　一般産業用コントローラの電力用コントローラとの比較(2/2)

	項　目		一般産業用コントローラ仕様	電力用コントローラ仕様	説　明
12	温　度　性　能		JIS B 3502 では，コントローラ単体(開放型装置)の直下で+5℃～55℃	周囲温度-10℃～+50℃において，動作値，動作時間などの許容誤差が常軌使用状態の2倍以内にあること	周囲温度に同じであり，電協研水力仕様の合理化策では，一般産業用の適用を考慮して動作保証の規定は行わないとしている
13	入　出　力　電　圧		DC24V が基本 DC110V の製品もあるが，実装密度が 50%程度，電圧変動範囲が±10%程度となる場合がある	DC110V	電協研水力仕様では合理化できないとして，仕様を満足できる補助装置の設置が必要である
14	CPU 演算速度		電力用コントローラと同等	要求仕様，機能を満足できる速度	差異なし
15	メ　モ　リ　容　量		下位機種では小容量であるが，水力発電所用としては問題にならない	要求仕様，機能を満足できる容量	プログラム容量，データメモリ容量とも問題ない
16	水力発電所機器とのインタフェース		専用インタフェースがなく，装置としての応答性，精度が若干異なる	専用カードによるインタフェース	拡張ユニットで対応
17	信　頼　性		電力用コントローラを超えることはないが，大きな差はない	高い信頼性を実現	エージング方法，スクリーニング対象範囲などに差がある ユニット化されているため部品点数は少ない
18	保　守　性		故障時はユニット単位の交換を行うのみで，製品のモデルチェンジは電力用コントローラに比べて早い	故障時は部品交換だけでなく，原因調査，解析を行う体制がある 長期間の保守対応も行われている	ユニット単位の交換で対応
19	その他	試験成績書	製品個別の試験成績書はない	製品個別の試験成績書がある	標準の試験成績書
		製品の非標準個別対応	製品の非標準個別対応はできない	精密受入試験など製品の非標準個別対応ができる	制御･保護機能共用型，全機能共用型も同様
		価　格	ハード単体の価格は電力用と比べ安価(カタログ販売品)	ソフトを含む装置一式の価格	一般産業用コントローラでは，ハードウェア価格のほかにソフトウェア設計，組立，配線，試験費用などが別途必要
		ソフトウェアの　扱　い	一般にソフトは別売	販売価格にはソフトが含まれる	盤に組み込み，装置として製作する場合は従来と変わらない
		販　売　数　量	販売数量は多い	―	―
		保　証　期　間	保証期間は1年間	契約により異なるが，通常は2年間	―

注1　JIS B 3502：
日本工業規格 JIS B 3502 (1997)「プログラマブルコントローラ装置への要求事項及び試験」

注2　JEIDA 29：
電子情報技術産業協会 JEIDA 規格
JEIDA 29 (1990)「工業用計算機設置環境基準」(2000-7 廃止，JEIDA 63 に移行)
JEIDA 63 (2000)「産業用情報処理･制御機器設置環境基準」

注3　電協研水力仕様
電気協同研究　第 57 巻第 5 号(平成 14 年 3 月)「一般水力発電所の制御･保護システム合理化」
電協研水力仕様の定義は「概要」に記載されており，以下に内容を抜粋する。
「従来は水力発電所の制御装置及び保護装置の一般仕様についての標準仕様は，電気共同研究　第 48 巻第 3 号(注 4)で記載された，いわゆる「電力仕様」であった。しかし，「電力仕様」という名称は電力用規格 B-402(注 5)と混同されて用いられる恐れがあることに加え，制御･保護装置間で内容に一部違いがあるなど，曖昧な部分があった。本研究では，これらの仕様の見直しを行い，内容の明確化と制御･保護装置間の一般仕様の統一を図っている。
このため，従来の標準仕様と区別するために，本書で記載した現状の仕様(合理化検討ベース)を特に「電協研水力仕様」と呼ぶこととした。「電協研水力仕様」は，水力発電所の制御装置および保護装置の一般仕様についての定義とし，高信頼性，高機能性を追及した従来のいわゆる電力向け標準仕様に相当する。

注4　電気協同研究
電気協同研究　第 48 巻第 3 号(平成 4 年 11 月)「水力発電所ディジタル機器の標準仕様」

注 5　電力用規格
B-402(平成 9 年 10 月改訂)「ディジタル形保護継電器及び保護継電装置」

表Ⅳ-3.13 の一般産業用コントローラの電力用コントローラとの比較仕様一覧を受けて，簡易発電システムへ一般産業用 PLC を適用するにあたっての考え方を，表中説明欄にも記載したが，差異のある部分に関しては電協研水力仕様である電気協同研究（第 57 巻第 5 号）にある下記の合理化策を適用する。

合理化策レベル a：電協研水力仕様の一部を省略し，装置（盤）としては可能な限り電協研水力仕様を満たしながら，一般産業用を適用する。

合理化策レベル b：電協研水力仕様の全てを除外して，適用を前提としている一般産業用コントローラ以外にも一般産業用機器を適用する。

次に，一般産業用コントローラを簡易発電システムへ適用するにあたり，運転制御及び監視制御面での制約事項，並びにその対応策について，表Ⅳ-3.14 のように整理した。ここで，遠方監視制御に関しては，簡易発電システムが随時巡回に該当することから考慮しないことにした。

また，水車発電機の機器簡素化及び合理化策によっては，水車型式並びに発電機種別の選定で，調速制御（水車による省略）または励磁装置（発電機による省略）も該当しない可能性がある。

表Ⅳ-3.14　一般産業用コントローラの制約事項，対応策

	項　目	制約事項	理由	対応策ほか
1	自動制御(起動停止)	該当なし	―	―
2	調速制御	X 級(注 1)の適用は不可	専用の回転速度検出カードがないため，X 級(注 1)の不動帯 0.02％を保証するだけの精度がない	Y または Z 級(注 1)の適用
3	励磁制御	最大電圧上昇率(ΔV)は保証可能，ブラシレス励磁では負荷遮断時に波形が乱れる可能性がある	時定数の短い発電機でブラシレス励磁の場合，電圧や界磁電流の検出遅れが大きいと波形が乱れる	負荷遮断時の波形乱れを許容する
4	二次制御	該当なし	―	―
5	自動同期	ビート電圧の演算不可	専用の入力カードがないため，電圧波形を高速にサンプリングできない	ビート電圧変換器(特注品)を外部に設置する
6	遠方監視制御	CDT(注 2)または HDLC(注 3)方式に準拠できない	専用のモデムカードがない	遠方制御は考慮しない 遠方監視は簡易通報装置等の汎用品で対応可能

注1　X 級，Y 級，Z 級

電気協同研究第 42 巻第 2 号「水車付属装置の設計指針」で，調速制御に関して定義されている性能の一つである。具体的には以下の通り。

X 級：ガバナフリー運転(調定率一定運転)，AFC(自動周波数制御)運転を行う系統周波数の調整を行う主要発電所に適用される。

Y 級：X 級を使用する発電所に準じて系統周波数調整を協力する発電所に適用される。また，系統単独運転(直配負荷を含む)，或いは試送電を行うが X 級に該当しない発電所に適用される。

Z 級：系統周波数調整を必要としない発電所や誘導発電機の発電所に適用される。

注 2　CDT：Cyclic Digital Transmission：サイクリックデータ転送装置

注 3　HDLC：High Level Data Link Control：ハイレベル[高水準]データ・リンク制御

b　簡易制御・保護装置の基本仕様等調査

表Ⅳ-3.15 は実績のある簡易制御・保護装置の基本仕様等について，機器製作者である中小水力向け一体型制御・保護装置 5 社，マイクロ水力向け制御・保護装置 2 社を調査した結果を整理したものである。

CPU 構成や機器性能等は全て標準装備である。また，必要によりオプション扱いで追加仕様が可能な機器もある（準標準品）。従来，一体型制御・配電盤は電気協同研究第 48 巻第 3 号にもとづいた「電力仕様」が基本であったが，前述した電気協同研究第 57 巻第 5 号で，一般水力発電所の制御・保護システムの合理化が図られ，表Ⅳ-3.15 にある機器は，全てこの合理化策を取り入れた簡易型となっている。

各社個別の仕様により，標準装備品に多少の違いはあるが，中小水力向け一体型制御・保護の CPU 構成は，汎用 PC，一般産業用または汎用 PLC を採用しており，合理化策では補助装置の設置が必要とされた電源装置については,シングル化を図り，コストダウンに努めている。また，操作・表示部はタッチパネルで簡素化し，自動制御及び自動同期は各社とも標準装備である。【A 社】及び【D 社】は，Y 級の調速制御を可能としている。遠方監視制御については，各社とも基本的にオプション扱いであるが，簡易発電システムでは随時巡回方式が一般的であることを考慮し，遠方制御は考慮せず，簡易通報装置等による遠方監視のみ検討対象とする。

なお，遠方監視に関しては，後述の「監視方式の合理化」の中で，汎用性の高いインターネットやモバイルによる web 技術の適用，簡易発電システムでの監視項目等について，その開発動向調査，関係法令等を踏まえ検討する。

表IV-3.15　簡易制御・保護装置の基本仕様（メーカー比較）

製作者	CPU 構成	電源構成	性　　能								価格 (万円)
			操作･表示	自動 制御	自動 同期	励磁制御	調速制御	二次調整	遠方監視制御	保　護	
A 社	シングル (汎用 PLC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	○	Y 級 油圧，電動ｻｰﾎﾞ (ｶﾌﾟﾗﾝ水車 高効率運転可)	･水調 ･APFR ･AQR	― (ｵﾌﾟｼｮﾝでｲｰｻﾈｯﾄ または Web によるﾓﾆﾀ機能)	#51,#51H,#27B,#59B #67G,#64B,#95H/L #87,#87G,#51GN,#40 #12,#64N	2,000
B 社	シングル (汎用 PC)	二重化	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	―	―	･ALR ･水調(ｵﾌﾟｼｮﾝ) ･APFR	― (電話回線によるﾓﾆﾀ機能)	―	3,300
C 社	シングル (汎用 PC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	―	―	･水調 ･APFR ･AQR	―	#51V,#59,#27B #95H/L,#64B,#12	1,150
D 社	シングル (一般産業用 PLC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	○	Y 級 油圧，電動ｻｰﾎﾞ	･水調 ･APFR	･CDT(ｵﾌﾟｼｮﾝ) ･HDLC(ｵﾌﾟｼｮﾝ)	#51,#59,#64G #95H/L,#64,#12	2,500
E 社	シングル (汎用 PC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	―	―	―	―	#51H,#51,#59,#64G #27,#95H/L,#12	950
F 社	汎用 PC	UPS (DC24V)	― (起動･停止 SW)	○	○	○ 同期発電機の場合，誘導発電機ではなし	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ	―	― (ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)	#51,#59,#64G,#12	500
G 社	―	―	― (起動･停止 SW) (回転速度計)	―	―	○ (発電機付属)	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ	―	― (ｵﾌﾟｼｮﾝで電話回線によるﾓﾆﾀ機能)	#59,#27,#95H/L,#12	400

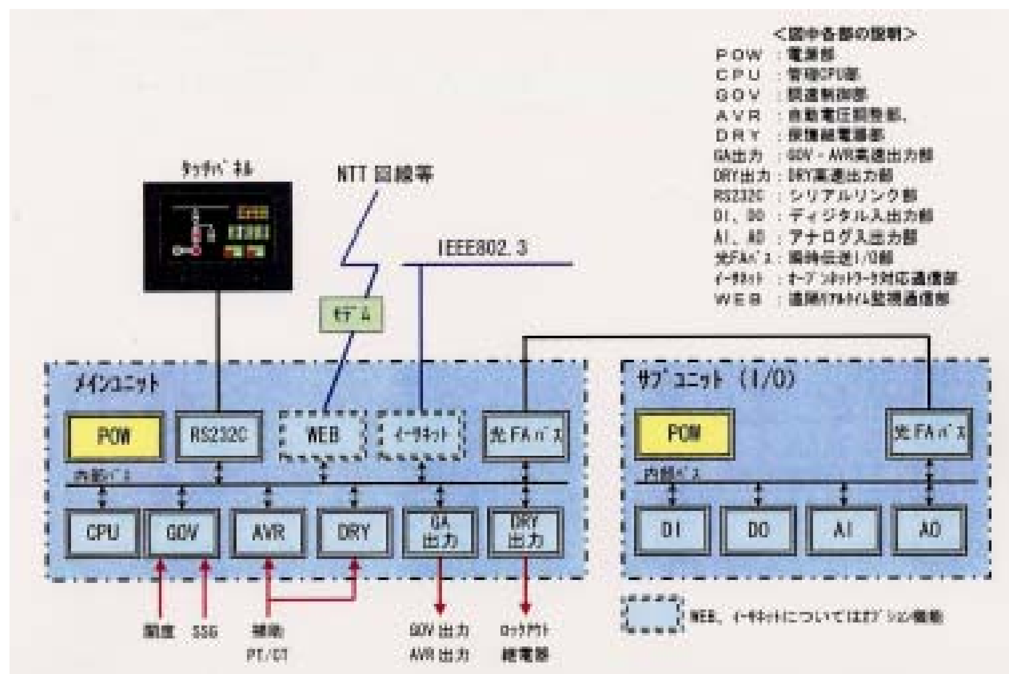
※A 社～E 社：中小水力向け一体型制御･保護装置，F 社～G 社：ﾏｲｸﾛ水力向け制御･保護装置

※機器製作者ﾒｰｶｰ標準品(ｶﾀﾛｸﾞ等資料，聞き取りﾍﾞｰｽ)

※構成，性能は標準装備品(追加仕様はｵﾌﾟｼｮﾝとして記載)

簡易制御・保護装置の基本仕様等において，各社で共通しているのは，汎用品の採用よる合理化策であり,機器縮小による省スペース化,操作性及び保守性の向上,現地工事及び試験期間の短縮，経済性の向上である。

図Ⅳ-3.40 に簡易制御・保護装置の代表的なシステム構成，表Ⅳ-3.16 に基本性能を示す。これは【A 社】の例であるが，非常にコンパクトでシンプルな構成であり，オプションではあるが，web 回線を利用した遠方監視が可能である。



図Ⅳ-3.40　簡易制御・保護装置システム構成（代表例）

表Ⅳ-3.16　簡易制御・保護装置システム構成（代表例）

調速制御機能 (GOV)	級　別	Y 級[標準], Z 級
	速度検出方式	SSG (ﾊﾟﾙｽﾋﾟｯｸｱｯﾌﾟ式) [標準]
	運転方式	①ｶﾞﾊﾞﾅﾌﾘｰ運転, ②負荷制限運転, ③定出力運転
	付加機能	①高効率運転 (ｶﾌﾟﾗﾝ水車立体ｶﾑ機能等) ②出力制限運転
自動電圧調整機能 (AVR)	電圧調整範囲	-20～+10% (AVR 運転時)
	電圧制御偏差	±1%以内
	付加機能	励磁制限 (kVAL) を実装
水調機能(#77W)	制御動作	定水位または水位垂下率
自動力率調整機能 (APFR)	力率設定範囲	Lead90～100～Lag80%
自動無効電力調整機能 (AQR)	制御動作	Q=a+bP
	設定範囲	a:Lead1.0～Lag1.0pu, b: Lead1.0～Lag1.0pu
自動同期機能	機　能	①揃速機能(#15), ②電圧調整機能(#60), ③同期投入機能(#25)
保護継電機能(DRY) (接地系, 非接地系)	保護継電器要素	#51(反限時), #51H, #27B, #59B, #67G, #64B, #95H/L #87, #87G, #51GN, #40, #12, #64N (※)同期ﾁｪｯｸ用として#25S についても実装
ｲｰｻﾈｯﾄ機能 (ｵﾌﾟｼｮﾝ)	種　類	①10BASE-T, ②10BASE-5, ③100BASE-TX

中小水力向け一体型制御・保護装置は，その価格が 1,000～3,000 万円であるのに対して，マイクロ水力向け制御・保護装置はこれの 20%～50%で低価格であることから，簡易発電システムへの適用にあたっては一層のコストダウンを図ることができる。

表Ⅳ-3.17 は【F 社】の制御・保護機能を整理したものである。同期発電機，誘導発電機の発電機種別によりその機能は異なるが，簡易発電システムの簡易制御・保護装置として適用が望めるものである。

表Ⅳ-3.17　【F 社】制御・保護機能一覧

機　能	同期発電機	誘導発電機
CPU 構成	汎用 PC	Ry 制御
制御電源	小容量 UPS 装備(DC24V)	AC100V 電源
操作･表示	起動･停止 SW, 運転表示のみ （故障表示なし）	起動･停止 SW, 運転表示のみ （故障表示なし）
自動制御	①起動･発電 入口弁を開操作 →昇速→電圧確立→揃速(ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ) →並列→発電出力 ②停止･非常停止 停止･重故障信号→入口弁自動閉鎖 →解列	①起動･発電 入口弁を開操作 →昇速→すべり 3%程度で並列 →発電出力 ②停止･非常停止 停止･重故障信号→入口弁自動閉鎖 →解列
自動同期	あり	なし
励磁制御	あり	なし
調速装置	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ式周波数調整装置を使用	なし
遠方監視制御	なし(ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)	なし(ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)
保護	#51,#59,#64G,#12 動力伝達ﾍﾞﾙﾄ破断	#51,#59,#64G,#12 動力伝達ﾍﾞﾙﾄ破断

c　単独運転検出装置の基本仕様等調査

単独運転とは，系統事故時等に発電設備が系統から解列されずに商用電源から分離された部分系統内における運転であり，一般公衆や点検作業員の感電，非同期連系による機器破損等の安全に対して大きな影響を与える恐れがあるとともに，事故点の被害拡大や事故復旧の遅れ等により供給支障の拡大を招く可能性があることから，確実に防止することを原則としている。

単独運転を検出する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多種の方式が実用化されている。受動方式では周波数変化率による検出方式が一般的であるが,受動方式のみで使われることは信頼性確保の点から不可能である。このため，能動方式について機器製作者を調査した。表 3.18 は検出方式の異なる 4 社を調査した結果である。この中で転送遮断装置も併記したが，転送遮断装置は系統遮断器情報を専用通信線や一般公衆回線等で伝送し，発電設備の線路遮断器等を動作させるものであって，系統遮断器情報の出力並びに通信線の確保が必要になることから，簡易発電システムには適さないと考える。

表Ⅳ-3.18において，【B社】及び【C社】の方式は，その適用が同期発電機に限定されており，誘導発電機や永久磁石発電機を主流とする簡易発電システムには適さないと考える。また，費用も高額であり，【A社】または【D社】の方式が検討対象となる。

【A社】の次数間高調波注入方式は，電力系統に微少量の次数間高調波電流を注入することにより，それに対する電圧や電流を計測してインピーダンスの変化を監視することで単独運転を検出するもので，注入する高調波は微少量なため，電力系統に影響を与えない特徴を有している。複数台設置による相互干渉がなく，検出時限も１秒程度と早いため，高速で確実な検出が期待できる。

【D社】の負荷変動方式は，電力系統に検出用インピーダンス（負荷抵抗）を周期的に短時間挿入し，系統側からの電流変化値と発電機からの電流変化値を用いて単独運転を検出するもので，励磁回路を持たない誘導発電機や負荷変動の激しい発電設備への適用も可能としている。

系統単独運転検出装置の選定にあたっては，発電機型式，運転条件，保護要素等を考慮し，必要な仕様を満足する標準品から選定することが望ましい。

表IV-3.18　単独運転検出装置の基本仕様（メーカー比較）

評価指標 ＼ 各方式		【A 社】 次数間高調波注入方式	【B 社】 無効電力変動方式	【C 社】 QCﾓｰﾄﾞ周波数ｼﾌﾄ方式	【D 社】 負荷変動方式	転送遮断装置
分散電源業者が着目する指標（汎用性，経済性等）	単独運転検出装置の外付	可	自動電圧調整装置に外乱信号を与える必要あるため否	自動電圧調整装置に外乱信号を与える必要あるため否	可	—
	装置容量	発電機容量にかかわらず標準装置で対応可	発電機容量に関わらず標準装置で対応可	発電機容量に関わらず標準装置で対応可	発電機容量増大に伴い装置容量（負荷抵抗）が大きくなる	—
	複数台纏め一括保護	複数台を纏めて1台で保護可	複数台纏めて保護することは困難な場合あり	複数台纏めて保護することは困難な場合あり	複数台を纏めて1台で保護可	複数台を纏めて1台で保護可
	適用できる発電機の種類	発電機の種類によらず使用可	同期発電機のみ使用可	同期発電機のみ使用可	発電機の種類によらず使用可	発電機の種類によらず使用可
	装置の大きさ	(W500*D400*H1,700mm) 自立盤200kg	(W600*D150*H250mm) 他盤へ組込10kg	(W190*D95*H260mm) 他盤へ組込1.6kg	(550*D250*H800mm) 自立盤(壁掛可) 55kg	(W500*D200*H300mm) 他盤へ組込10kg
	連系保護継電器（メーカー標準装備）	#59,#27,#67S,#64V,#95H/L	#27,#95H/L	#59,#27,#95H/L	#59,#27,#95H/L	—
	価　格（万円）	400～450	800前後	800前後	200～350	800～1,200
電力会社が着目する指標（系統への影響等）	系統への影響	0.1%程度の注入次数成分の電圧歪を発生させる	複数設置の際には電圧変動が大となる可能性あり	系統連系時変動なし	複数設置の際には電圧変動が大となる可能性あり	原理的になし
	複数台設置による相互干渉	注入周波数の高精度分離により影響なし	変動位相の同期により影響なし	特に影響は受けない	負荷挿入周期の同期により影響なし	原理的になし
	検出時限	1秒程度で検出	2秒～10秒程度	数秒程度	1秒～5秒程度	原理的に高速
	保守性	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	･毎年通信試験が必要 ･系統切替毎に対処要 （ﾋｭｰﾏﾝｴﾗｰによる誤遮断あり）

※単独運転検出装置（能動式）
※機器製作者ﾒｰｶｰ標準品(ｶﾀﾛｸﾞ等資料，聞き取りﾍﾞｰｽ)

３．３．２　簡易制御，保護装置に関する技術検討

簡易制御・保護装置の基本仕様は，前述したように一般産業用 PLC 等による CPU 構成がなされ，電協研水力仕様（電気協同研究第 57 巻第 5 号）の合理化策を反映した簡易型として標準品として製品化されている。その選定にあたっては，水車発電機型式，運転条件，保護要素等との協調を図り，必要な仕様を満足する標準品から選定することが望ましい。

【解説】

ここでは，簡易発電システムに必要な制御及び保護項目，保護装置に関わる技術基準及び系統連系ガイドライン，単独運転検出装置の技術的課題等について検討した。

ａ　簡易発電システムの制御対象

簡易発電システムで必要な制御項目は，機器簡素化，合理化による機器省略により対象となるものに違いがあること，手動操作であれば自動操作の必要がなく，制御対象とはならない等，水車発電機の機器仕様により大きな差がある。

表Ⅳ-3.19 に，簡易発電システムの制御対象として，基本的な自動制御対象項目とその制御方法について整理した。

表Ⅳ-3.19　簡易発電システムの制御対象

自動制御対象	自動制御方法	摘　要
自動制御 (水車，入口弁，発電機，遮断器)	･起動停止，並解列 ･非常停止	手動操作の場合は省略可 (入口弁等，遮断器)
自動同期	･電圧，周波数，位相調整	手動並列の場合は省略可
励磁装置	･励磁制御，電圧確立	永久磁石発電機，誘導発電機は省略可
調速装置 (ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ，負荷制限装置，ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ)	･ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ等による調速制御 ･水調運転，流量一定運転	
ｲﾝﾊﾞｰﾀ	･ｲﾝﾊﾞｰﾀ制御(ﾄﾙｸ，速度指令)	－

ここで，重錘閉鎖装置付入口弁を適用する場合は，起動時の開操作は手動であり，停止または事故時は重錘による自重閉操作であるため，自動制御対象にはならない。また，並列用遮断器操作を手動とする場合も，自動同期を含めて自動制御対象外になる。永久磁石発電機の適用では励磁制御が不要になるが，インバータ制御に対するトルク，速度指令の入力が必要になる。

また，水位一定運転（砂防ダムや上下水道に適用）や流量一定運転（維持流量水車）が必要な場合には，調速装置を設置する必要がある。山小屋の独立系統に接続される場合には，周波数を一定に保つため負荷変動に応じたダミーロードの「入，切」が必要となる。このため，発電システムの構成や運転制御方式に応じて制御対象は大きく変化する。

汎用 PLC のシステムダウンを回避する観点からは，汎用 PLC の容量及び処理速度

を考慮し，制御対象を少なくしてCPU負担率の低減を図ることが望ましい。

この汎用PLC等，制御系のシステムダウン時の対応としては，①維持流量放流の責務から運転継続，事後，保守員による手動停止操作，②水車発電機非常停止など運転条件に合せたシーケンスを考慮する必要がある。

b　簡易発電システムの保護

簡易発電システムの保護項目は，関係法令と経済性を勘案して，#51（過電流），#59（過電圧），#27（低電圧），#64（地絡），#12（過速度）を基本とする。機器仕様によっては，水車発電機がベルト駆動の場合，動力伝達ベルト破断等の保護項目を基本項目に加える必要がある。

[参考]　モニタリング調査結果

ここでは制御・保護装置に関するモニタリング調査結果について整理する。制御・保護装置は水車・発電機のように，地点による大きな違いは見受けられなかったが，事業者が電力会社や官公庁で電気専門職を有する地点は電協研水力仕様によるところが大きく，電気専門職を有さない地点はメーカー推奨の一般産業用規格による傾向が見られた。また，数 10kW クラスの小出力地点では，大半において一般産業用の制御・保護装置であった。

【解説】

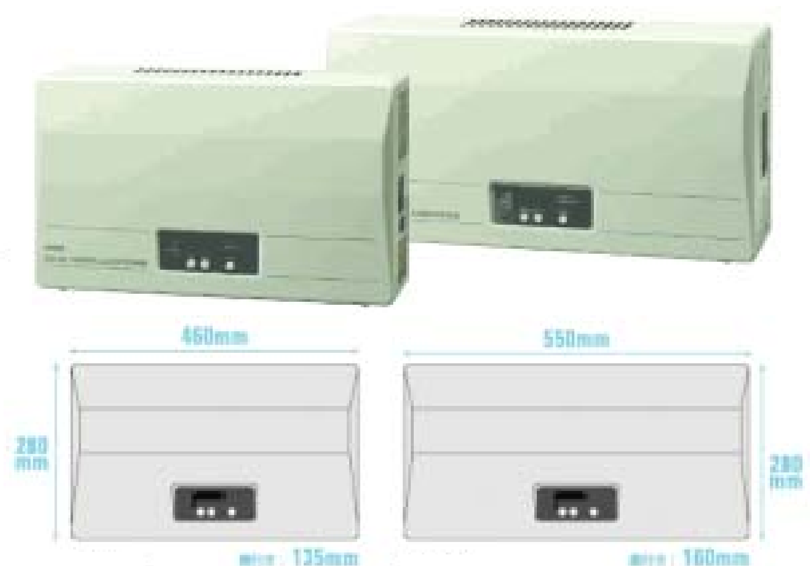
ここでは，制御・保護装置に汎用品を転用した典型的な事例と，その制御・保護装置の性能，仕様等について調査した結果を説明する。

モニタリング調査で，同期発電機と INV システムを組合せ，逆潮流有りで低圧連系する地点では，この INV システムに家庭用太陽光発電用ユニット（定格容量 4kW）を採用し，必要容量を得るために，6 台で並列運転しているものがあった。ユニットは親子局の設定が可能であり，1 台を親局に設定し，残り 5 台は子局として親局と連動した制御・保護がなされている。

INV システムに電力仕様製品の適用を止め，一般に市販されている汎用品を採用したことにより，大幅なコストダウンが図られていると考えられる。

この太陽光発電用ユニットはO社の製品で，通常は太陽電池パネルとの組合せで市販されているものであるが，小水力発電機器への適用も可能としている。

図IV-3.41 に装置外観と寸法を示す。製品としては，定格容量 4kW と 5.5kW の 2 つがラインナップされている。非常にコンパクトな設計であり，壁掛けタイプであることから，設置スペースの省力化が図られる。



図IV-3.41　太陽光発電用ユニット　装置外観及び寸法

価格は定格容量 4kW で 1 台あたり 25 万円前後である。入力を直流とする必要があるため，整流器が別途必要であるが，単独運転検出機能など系統連系にあたって必要な保護装置が全て組み込まれており，安価である。

表IV-3.20 に本製品の性能，表 3.21 に定格，表 3.22 に機能（保護機能など）を示す。また，写真IV-3.6 は，モニタリング調査地点における本製品による配電盤構成を示す。

表IV-3.20　太陽光発電用ユニット　性能

絶縁抵抗	DC500V 絶縁抵抗計にて、電気回路一括と外箱間 1MΩ 以上
商用周波耐電圧	電気回路一括と外箱間 AC1,500V 1min
雷インパルス耐電圧	波形 1.2/50μs、正負各 3 回印加にて、異常なし ・主回路一括と外箱間 5kV ・交流電圧入力端子間 1kV
ノイズ耐量	600V、1μs のパルス、正負各 1min 重畳にて、異常なし

表IV-3.21　太陽光発電用ユニット　定格

直流入力	定格入力電圧	DC240V
	入力電圧範囲	DC0～370V
	運転可能電圧範囲	DC100～370V
交流出力	定格容量	4.0kW（形KP40F）、5.5kW（形KP55F） （周囲温度 30 ℃にて連続運転）
	出力相数	単相2線式
	接続	単相3線
	定格電圧	AC202V（AC101V、2 相）
	出力電圧範囲	AC202V ± 12V（AC101V ± 6V、2 相）
	定格周波数	50/60Hz
	周波数範囲	50 ± 2.0Hz または 60 ± 2.4Hz
	電力変換効率	93.5%（形KP40F）、94.0%（形KP55F）＊ （周囲温度 25 ℃、定格負荷時）
	出力基本波力率	0.95 以上（1/8 定格～定格出力時）
	電流歪率	総合5%以下（入出力定格時にて） 各次3%以下（入出力定格時にて）
停止時消費電力		2W 以下（夜間表示スイッチがオフ時）
使用周囲温度		－10～＋40℃（ただし、結露および氷結なきこと）
使用周囲湿度		25～85%RH（ただし、結露および氷結なきこと）
主回路方式	インバータ方式	連系運転時：電圧型電流制御方式 自立運転時：電圧型電圧制御方式
	スイッチング方式	PWM 方式
	絶縁方式	非絶縁トランスレス方式（昇圧チョッパ方式）
	冷却方式	自然空冷方式
制御方式	電力制御	最大電力追従制御
	補助制御	進相無効電力制御（力率制御範囲 0.85～1） ソフトスタート
	運転制御	自動起動、自動停止 （太陽電池の出力状態監視による起動／停止）
自立運転機能	電気方式と定格電圧	単相2線、AC101V
	定格容量	1.5kVA
外形寸法		横460mm×高さ280mm×奥行き135mm（形KP40F） 横550mm×高さ280mm×奥行き160mm（形KP55F）
質量		13kg（形KP40F）、24kg（形KP55F）
ケース		金属ケース 外装色 マンセル 5Y8.5/1
取りつけ方法		壁掛けタイプ

***効率の測定は，JISC8961 に準拠**

表IV-3.22　太陽光発電用ユニット　機能（保護機能など）

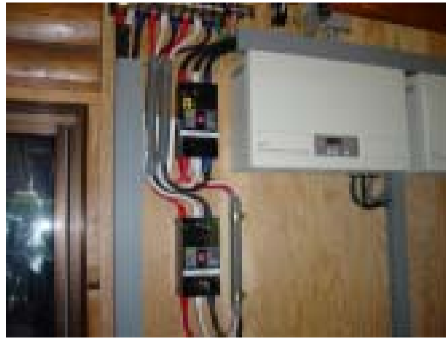
■系統保護（下線部は工場出荷時設定）

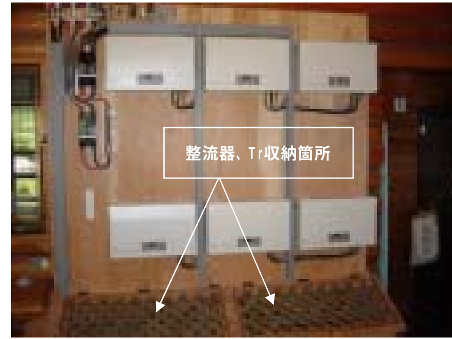
<table>
<tr><td rowspan="3">交流過電圧検出
(OVR)</td><td>検出相数</td><td>2相（両電圧線と中性線間）</td></tr>
<tr><td>動作電圧整定</td><td>110.0 − 112.5 − 115.0 − 120.0V</td></tr>
<tr><td>動作時間整定</td><td>0.5 − 1.0 − 1.5 − 2.0s
（入力電圧を定格電圧から整定電圧の105%に急変時）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">交流不足電圧検出
(UVR)</td><td>検出相数</td><td>2相（両電圧線と中性線間）</td></tr>
<tr><td>動作電圧整定</td><td>80.0 − 85.0 − 87.5 − 90.0V</td></tr>
<tr><td>動作時間整定</td><td>0.5 − 1.0 − 1.5 − 2.0s
（入力電圧を定格電圧から整定電圧の95%に急変時）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">周波数上昇検出
(OFR)</td><td>検出相数</td><td>1相（両電圧線間）</td></tr>
<tr><td>動作周波数整定</td><td><table><tr><th>定格周波数</th><th colspan="4">整定値（Hz）</th></tr><tr><td>50Hz</td><td>50.5</td><td>51.0</td><td>51.5</td><td>52.0</td></tr><tr><td>60Hz</td><td>60.5</td><td>61.0</td><td>61.5</td><td>62.0</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>動作時間整定</td><td>0.5 − 1.0 − 1.5 − 2.0s
（入力周波数を定格周波数から整定周波数の105%に急変時）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">周波数低下検出
(UFR)</td><td>検出相数</td><td>1相（両電圧線間）</td></tr>
<tr><td>動作周波数整定</td><td><table><tr><th>定格周波数</th><th colspan="4">整定値（Hz）</th></tr><tr><td>50Hz</td><td>48.0</td><td>48.5</td><td>49.0</td><td>49.5</td></tr><tr><td>60Hz</td><td>58.0</td><td>58.5</td><td>59.0</td><td>59.5</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>動作時間整定</td><td>0.5 − 1.0 − 1.5 − 2.0s
（入力周波数を定格周波数から整定周波数の95%に急変時）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">直流分検出</td><td>動作値</td><td>200mA 以下（形 KP40F），275mA 以下（形 KP55F）</td></tr>
<tr><td>検出時間</td><td>0.5s 以下</td></tr>
<tr><td rowspan="2">直流地絡検出</td><td>動作値</td><td>DC100mA</td></tr>
<tr><td>検出時間</td><td>0.2s 以下</td></tr>
</table>

■単独運転検出

<table>
<tr><td rowspan="3">周波数変化率
検出方式
（受動的方式）
（注）</td><td>検出相数</td><td>1相（両電圧線間）</td></tr>
<tr><td>動作値整定</td><td>±0.2 − ±0.3 − ±0.4 − ±0.5%</td></tr>
<tr><td>検出時間</td><td>0.5s以下</td></tr>
<tr><td rowspan="3">無効電力変動方式
（能動的方式）</td><td>検出相数</td><td>1相（両電圧線間）</td></tr>
<tr><td>変動値整定</td><td>±5 − ±6 − ±7 − ±8%（出力電力に対する%）</td></tr>
<tr><td>検出時間</td><td>0.5s以上 1.0s以下</td></tr>
</table>

(注) 連系RyはOFFしないで，5s間ゲートブロック









写真Ⅳ-3.6　モニタリング調査地点（太陽光発電用ユニット）

３．４　コストダウンの要素

コストダウンには単純にイニシャルコストダウンする方法と，地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発生電力量を大きくしてイニシャルコストと相殺させてコストダウンを図る方法がある。

【解説】

イニシャルコストダウンする方法については，電気機械設備の主要機器である水車，発電機及び制御・保護装置が全体に占める価格比率が大きいことから，機器仕様を簡素化または合理化を図ることによって単純にコストを下げることが考えられる。以下にイニシャルコストダウン要素を列記する。

（１）　機器別コストダウン

ａ　入口弁の省略または簡素化

入口弁は水路設備と密接に関係し，関係法令である「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈」により，その省略及び簡素化について規定されていることから，単純にイニシャルコストダウンの目的だけで省略することはできない。関係法令からは，水路または水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が必要であり，取水設備にゲート等の止水設備を設ける場合は入口弁を省略することができる。

止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンス方法にも影響することから，土木設備と水車設備の協調が取れた計画設計の中で，コストダウンを図る必要がある。

入口弁を設置する場合，通常の入口弁は水車起動・停止時に電動サーボモータまたは圧油装置を用いた自動開閉装置を有しているものが一般的であるが，簡易発電システムでは水車起動・停止頻度が少ないと想定されるため，これらの自動開閉装置を手動開閉，非常時は重錘により閉とする簡素化入口弁の採用がコストダウンに資する。

ｂ　調速装置の省略

水車回転速度を一定に制御するGVまたはニードル,アクチュエータ及びこれらの制御装置全てを省略しようとするものである。GVや補機が省略される結果，保守費用の軽減が図れる可能性もある。ただし，同期機では系統並列させるための流量・速度調整が必要になるため，基本的には省略できないが，ダミーロードを設置したり発電機に永久磁石発電機を採用する場合は，INV制御による速度制御が可能であるので，水車の調速装置を省略できる。

最近では，パワーエレクトロニクスの開発が目覚しく，汎用 INV の適用も可能で，コスト的にも低廉化していることから，永久磁石発電機によるシステム構成であっても，誘導発電機に比べコストダウンになるとの試算もある。

なお，永久磁石発電機可変速システムにおいて，調速装置を省略した場合は，入口弁或いは適当な流量調整ゲートがないと起動が難しいので，両者の省略は困難である。

調速装置を省略した場合の系統並列運転から単独運転に移行した場合，発生出力と負荷のアンバランスに伴う回転速度変動による電圧変動対策を考慮する必要がある（ここで単独運転とは，一般配電線を含まない構内または所内単独運転を指す）。

c　誘導発電機の採用

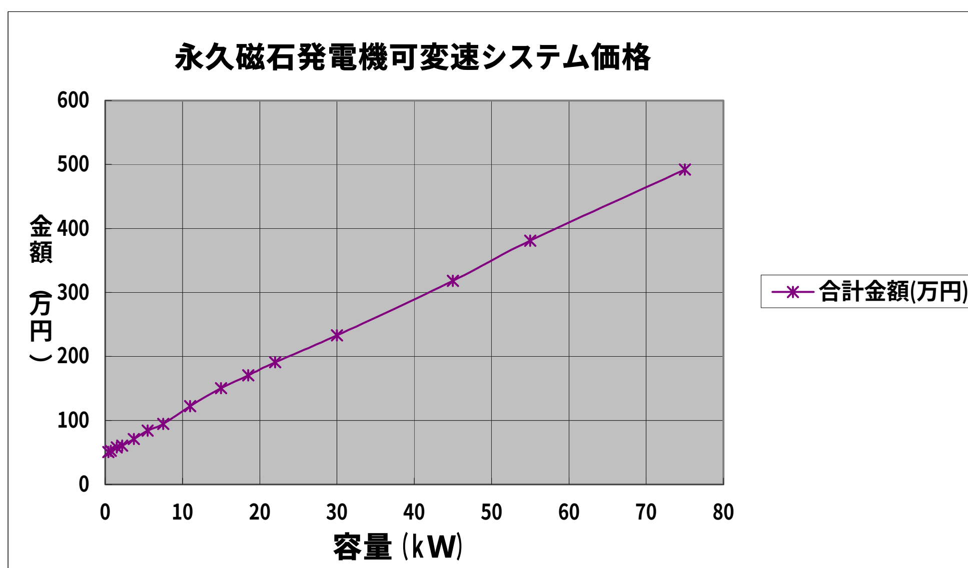
誘導発電機は同期発電機に比べると装置点数が少なく，コストダウンが図れ，装置点数が少ないことは保守の軽減によるランニングコストダウンにも繋がる。

誘導発電機では調速装置の省略が可能であるが，起動時の流量調整設備（入口弁或いはゲート），系統並列時突入電流対策（ソフトスタート回路或いは順次並列シーケンス），力率改善設備，単独負荷への供給困難等から，その適用にあたっては地点特性の検討が必要である。

d　永久磁石発電機可変速システムについて

永久磁石発電機可変速システムは励磁装置を有さないことから，同期発電機に比べると装置点数が少なく，コストダウンが図れる。また，調速装置も水調運転や流量一定運転の必要がなければ省略は可能である。ただし，系統連系は逆変換装置（INV+CONV）を介して行うので，これに関わる付帯設備が増えるが，逆変換装置は風力発電等でも実績が多く，その価格も低廉化している傾向にある。

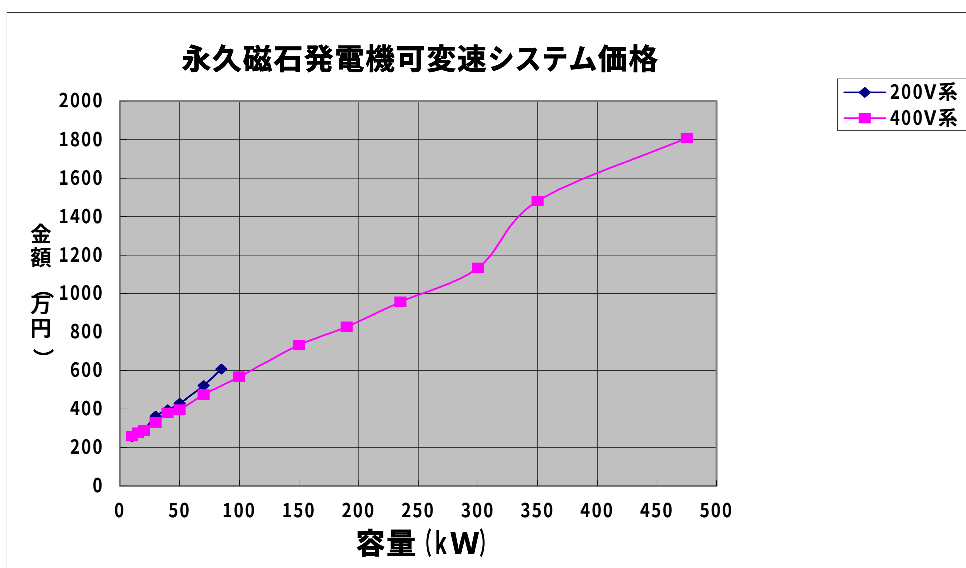
永久磁石発電機本体の価格は，前述した開発動向調査の中でも調査しており，その結果は出力 0.4kW～500kW で概ね 15 千円～4,000 千円程度である。しかしながら，永久磁石発電機は電力変換器（INV）を介して系統連系する同期発電機であり，価格を検討する際には，発電機単品ではなく，電力変換器（INV）を含めたシステムとしての評価が必要である。システム構成としての価格について，図Ⅳ-3.42 に【B 社】の価格カーブを示す。この価格には永久磁石発電機本体，電力変換器（発電機用 INV+連系用 INV），過大発電保護装置が含まれている。



図IV-3.42　【B 社】永久磁石発電機可変速システム価格

図IV-3.43 は【C 社】の価格カーブである。この価格には永久磁石発電機本体(回転速度 1,200min^{-1}，横据置脚取付型)，電力変換器であるパワーコンディショナ盤（発電機用 INV+連系用 INV，系統連系機能，連系保護装置を含む)，起動停止操作 SW，計測用コンソールが含まれている。

逆潮流なしとする場合の逆電力継電器は含まれず，輸送費，工事費，試験費は含まれていない。簡易発電システムが主として対象となる 200V 系低圧連系で出力 100kW 以下の仕様だと，その価格は 2,000 千円～6,000 千円程度である。



図IV-3.43　【C 社】永久磁石発電機可変速システム価格

永久磁石発電機は，定格回転速度以下でもその回転速度に応じた出力が得られ，より水車効率の高い運転点を選ぶことができる。このため，運転範囲が広がることにより変流量や変落差に対応できる。

単独負荷への供給は可能であるが，電圧が回転速度に依存するため，負荷遮断時の回転速度上昇による電圧変動対策が必要である。また，永久磁石発電機を簡易発電システムへ適用する場合，無拘束時の本体強度設計やその対策を検討する必要がある。

e　汎用品の適用

電力規格ではその仕様に厳しい部分があるため，簡易発電システムとして許容できる範囲で，一般産業用として使用されている汎用品を採用することによりコストダウンを図る。水車，発電機の主要機器は対象外になるが，一般産業用制御・保護装置，配電線用遮断器，汎用 INV 等がある。

① 並列用遮断器に配電線用遮断器（MCCB）を適用
② 可変速システムの INV に汎用 INV を適用
③ 制御・保護装置に一般産業用コントローラ（PLC）を適用，またはハード回路構成の簡易制御装置を適用
④ デジタル式一体型簡易保護装置の適用

（2）　建設費コストダウン

①一体可搬型水車発電機

中小水力の分野では標準的な一体型基礎（チャンネルベース）に水車，発電機，制御・保護装置等の電気機械設備を全て組込み，機器製作者で工場検査完了後にそのまま現地まで輸送し，現地組立なしに機器を据付けるものである。現地工程の短縮化が図れ，実績も多いことから，簡易発電システムへの適用も可能である。

ただし，輸送条件の制約により採用できない場合もあるので，個別地点毎の検討は必要となる。

②電気機械設備の屋外設置

各機器を屋外仕様で製作し，発電所建屋を省略することにより土木部門でのコストダウンを図るもの。屋外仕様とすることによる機器の価格増分はあるが，地点仕様によっては発電所建屋省略と相殺して，経済性が向上するケースもある。

ただし，住宅が密集する都市部や豪雪地帯，塩害地域等では問題が多く，また，雨の多い季節などではメンテナンス面で不都合が発生する可能性が高い。発電設備は保守上の観点から，一般公衆との明確な区分（立入禁止措置等）が必要であることを考慮すると，地点特性によりケースバイケースとなる。

（３）　その他コストダウン

①標準部品

通常，水車及び発電機は地点特性に応じた特別仕様が標準であるが，機器製作者からは中小水力向けに標準的な機器が数多くラインナップされており，地点特性に近い機器を適用することにより，設計費低減を図ることが可能である。

また，標準部品は調達コスト低減にも繋がるため，相乗効果的にコストダウンを図ることができる。なお，標準部品の適用は，本来目的とする仕様以上のものになるケースも想定され，オーバースペックについては注意が必要である。

②標準シーケンス

標準部品がハードであるのに対し，ソフトでも標準化したものを適用すれば，設計費低減によるコストダウンが図れる。このためには，機器制御をシンプルなものとし，一般産業用または小水力以外の分野，例えば風力などで実績のあるシーケンスを標準仕様として適用することも考えられる。

③簡略化した試験方法

試験費は価格全体に占める比率としては非常に小さいが，標準部品，標準シーケンス等は型式認定相当と扱い，試験項目を大幅に省略して，必要最小限の確認のみに留め，試験期間を短縮する方法がある。なお，試験については自主保安の観点から，予めユーザー側でその仕様を明確に規定しておく必要がある。

（１）～（３）に記述するように，イニシャルコストダウンは機器仕様を簡素化または合理化，工数低減等を図ることにより可能であるが，最低限遵守しなければならない関係法令，水車発電機性能等を無視して行うことはできない。

中小水力では変電設備，開閉設備を転用するケースもあり，簡易発電システムにおいても，リサイクルにより補える設備を抽出し，コストダウンを図る方法もある。また，このリサイクルも一般産業用からの部品転用も考えられる。

次に地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発生電力量を充分に確保してイニシャルコストと相殺させてコストダウンを図る方法であるが，簡易発電システムにおいては，その可能性を有するものの，地点の流況特性に大きく影響を受けるため，ケースバイケースでの検討が必要である。

発生電力量を増大させるために，無理をして地点特性による運転範囲をカバーする場合は，機器仕様が特殊となり，機器単体のイニシャルコストが 20～30%増大し，その制御系も複雑になることから，相乗的にコストアップに繋がることも考えられる。

次に，地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発生電力量を大きくしてイニシャルコストと相殺させてコストダウンを図る方法がある。地点特性に追従可能な水車の採用やインバータを使用したシステムに関する事項,および,低圧系統連系による合理化について，以下に記述する。

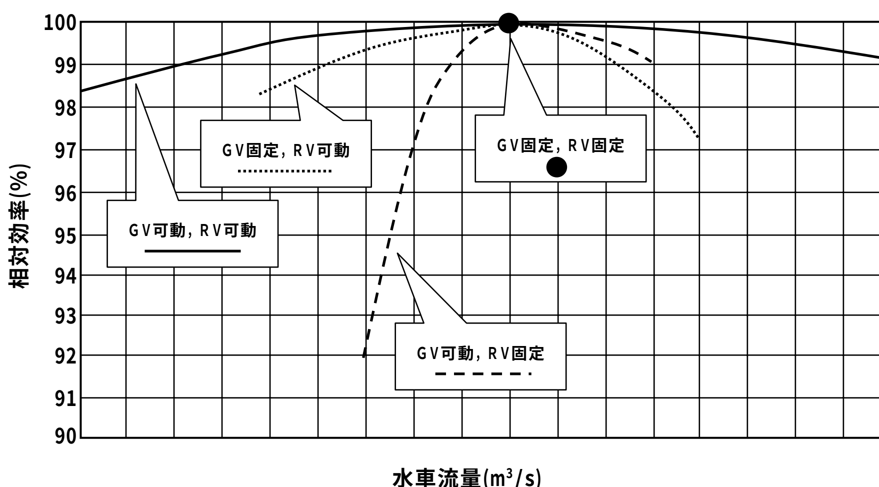
（4） 変流量：可動羽根プロペラ水車

上下水道設備は日間流量変化の幅が大きく，最大と最小の流量比が 2:1 に及ぶ場合が少なくない。通常，水車は最大使用水量で最高効率が得られるように設計されるため，運転する流量変化幅が大きいと，部分流量域は効率低下により発生電力量の減少が懸念される。

このような変流量特性に追従できる水車を採用することにより,発生電力量の減少を抑え,結果的にコストダウンを図る。

地点特性として，短時間に流況が変動する場合はガイドベーン（GV）を可動して対応するには限界があり，ランナベーン（RV）を可動させることによって，水車性能を変化させて運転範囲を広く確保することができる。部分負荷運転時の効率向上も期待でき，最低負荷運転レベルも下げることができる。

図Ⅳ-3.44 は可動羽根化における水車性能を比較したものである。これは機器製作者の一例であるが，GV 可動よりも RV 可動の方が運転範囲が広く確保可能で，オンカム点から離れた運転点における水車効率低下が緩やかになる。



図Ⅳ-3.44 GV･RV 固定・可動の違いによる水車性能比較

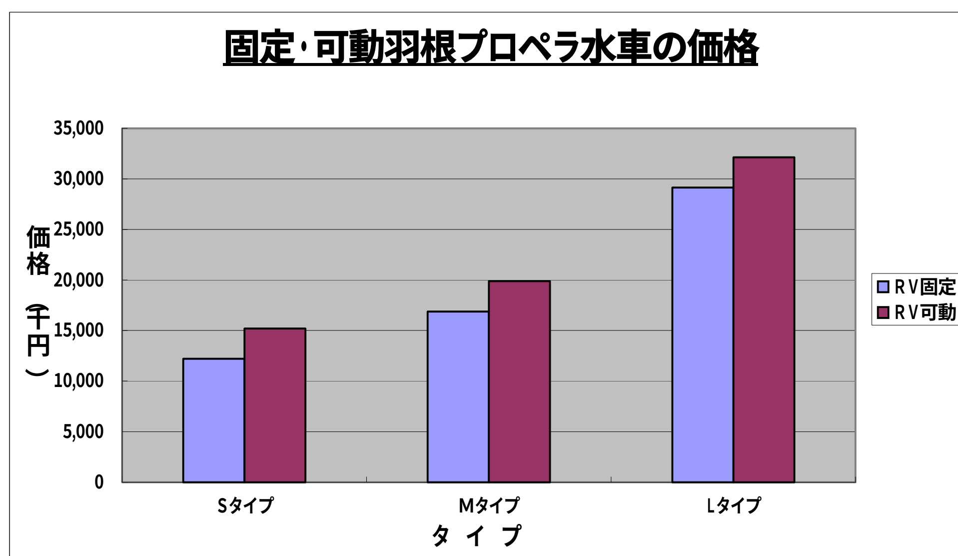
変流量を有する地点では，可動羽根プロペラ水車の適用が考えられるが，その機器単体の価格は固定羽根に比べて，一般的に約 30%増となる。運転範囲が広がることによる年間発生電力量の増加が期待できるが，地点特性によりケースバイケースであるので，地点毎の計画検討が必要である。

また，可動羽根化することにより，その制御シーケンスが追加となり，部品点数も増え，メンテナンス面も固定羽根に比べて不利である。更に，可動部が存在することにより，油流出対策をより徹底する必要がある。

可動羽根プロペラ水車を簡易発電システムへ適用するにあたっては，その地点の流況特性から充分にコスト回収が見込まれる場合はメリットがある。

可動羽根プロペラ水車の価格は，前述した開発動向調査の中でも調査しており，その結果は以下の通りである。固定羽根を可動羽根化する場合の価格は，【A 社】の場合，自動駆動方式で約 120～130%であり，【B 社】の場合は，手動駆動方式で約 120%，自動駆動方式で約 175%である。表Ⅳ-3.4-1 に【A 社】の RV 可動と固定の価格比較表を示す。

この価格には制御盤を含み，テレメータ，単独運転検出装置，高圧キュービクルは含まない。出力により，3 タイプがラインナップされている。



図Ⅳ-3.45　【A 社】固定・可動羽根プロペラ水車の価格比較

表Ⅳ-3.23　【A社】固定・可動羽根プロペラ水車の価格比較

モデル仕様	
Sタイプ	発電機30kW
	GV固定
	ランナベーン材質　普通鋳鋼
	入口弁取水弁有φ500
Mタイプ	発電機90kW
	GV固定
	ランナベーン材質　普通鋳鋼
	入口弁取水弁有φ700
Lタイプ	発電機200kW
	GV固定
	ランナベーン材質　普通鋳鋼
	入口弁取水弁有φ1,000

（5）　変落差：可変速制御，直列運転方式

貯水池式ダムは水位変化の幅が大きく，最高と最低の落差比が2:1に及ぶ場合が少なくない。通常，水車は基準有効落差付近で最高効率が得られるように設計されるため，運転する落差変化幅が大きいと，最高と最低落差域は効率低下により発生電力量の減少が懸念される。

このような変落差特性に追従できる水車を採用することにより,発生電力量の減少を抑え,結果的にコストダウンを図る。

変落差に対応する方法として，可変速制御と直列運転方式について説明する。

①可変速制御

可変速制御は揚水発電所において，揚水AFC容量確保のために導入されているケースが多いが，発電専用機でも発電高効率運転のために，特に，変落差が大きく，水車性能を変化させる必要がある地点に適用され，部分負荷運転の効率向上と運転可能最低出力の引下げにより運転範囲を広げ，発電所稼動率の向上が期待できる。

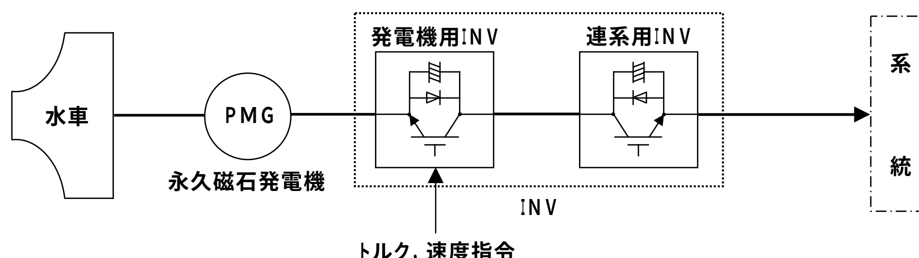
二次励磁方式による可変速制御は,系統周波数と回転速度の周波数にあたる「すべり周波数」の交流を励磁装置が発電機二次側に供給して定格回転速度以外の回転速度でも同期運転を可能としたものである。

この二次励磁方式は，発電機が特殊なものとなり，また，二次励磁装置も高価であり，実績も変落差の大きな特殊な水力や揚水発電所等しかなく，簡易発電システムクラスへの適用は，永久磁石発電機による一次側INV方式が望ましいとす

る結論に至っていることから，前述した発電機技術検討では，この一次側 INV 方式を検討対象にしている。

一次側 INV 方式による永久磁石発電機可変速システムは，主として風力発電の分野での適用実績が多い。誘導発電機方式と比較して，①風速に合った回転速度で運転することにより，発生電力量を増大する（高効率運転），②風による脈動の影響を効果的に吸収し，系統連系に際して電力脈動の少ない安定した電力を発生する，③多極の永久磁石発電機の採用によりギヤレスとできることがメリットとされる。

図Ⅳ-3.46 は，永久磁石発電機による一次側 INV 方式の回路構成を示したものである。



図Ⅳ-3.46　永久磁石発電機による一次側 INV 方式

発電機用 INV は発電機で発生する電力を制御するが，永久磁石発電機では発電機電圧が回転速度に比例するため，発生電力は発電機電流を制御することによって行われる。以下にその関係式を示す。

$$
\begin{aligned}
\text{電力指令}\ P &= \text{回転速度}(\omega)\times\text{トルク}(\tau)\\
&= \text{回転速度}(\omega)\times\overset{\boxed{\text{一定}}}{\underline{\text{トルク係数}(k)\times\text{磁束}(\phi)}}\times\overset{\boxed{\text{制御}}}{\underline{\text{発電機トルク電流}(I_q)}}
\end{aligned}
$$

永久磁石発電機は励磁装置を有さず，コストダウンを図れる期待がある。また，風力発電等での実績は多いものの，水力発電への適用は試験的に導入したケースが僅かにある程度で，技術的開発要素がある。

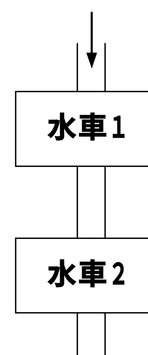
その価格も低廉化している傾向にあり，簡易発電システムへの適用が期待されるので，詳細検討については，次年度における課題としたい。

②直列運転方式

低落差用に開発された安価な水車をより高落差地点に適用するため，水車２台を直結運転させ，落差を 1/2 ずつ分担することが機器製作者から提唱されている。

試験運転の結果，技術的には問題なしとしているこの考え方を進め，大きな変落差には水車を2台以上水路に直列に配置し，変落差に応じた水車の運転台数制御を行うことも考えられる。

図Ⅳ-3.47に構成図を示す。この方式は，水車発電機が複数台必要になること等からコストアップに繋がる可能性が高いが，地点によってはメリットが得られる可能性もある。



図Ⅳ-3.47　直列運転方式構成図

（6）　インバータを使用しているシステムの現状と特徴

以下，インバータを使用する小水力発電設備の考察する。

a　単独運転の場合

単独運転の場合は、基本的に同期発電機を使用するのが一般的で，単独運転が多い開発途上国の未電化地域の集落の電化などに数多く採用されている。このシステムは，インバータを使用しないで回転機の出力をそのまま負荷に供給する方式である。

一方，日本の場合、回転機とインバータを組み合わせたシステムが採用されているケースが多々ある。例として，

①自動車用オルタネータ＋インバータ→バッテリー
　－Ａ製作所 3kW
　－Ｂ高等学校 4.8kW
　－Ｃ　ＮＰＯ試験設備（開放型下掛け水車）
②永久磁石式三相同期式電動機(※１)＋インバータ
　－Ｄ土地改良区 5kW
③永久磁石式発電機(※2)＋インバータ→バッテリー
　－Ｅ町Ｅ水力発電施設（海外水車）700W
③直流発電機＋インバータ→バッテリー
　－Ｆ小屋（海外水車）300W

（注）　※1：インバータモータ用のシステムで，回転子位置を検出し速度/トルク制御が可能なシステム
※2：発電機は単なるＰＭＧで，自転車の前照灯の発電機と同じ構造のもの。

この理由としては，小容量であるため、高い発電効率で出力を稼ぐことより，設備費を抑えるため，パッケージ化された安価な小型水力発電装置の使用や汎用発電機とインバータの組合せを採用したことである。このシステムが経済的に成立するには，自動車用のオルタネータのような汎用品を使用することである。

また，このシステムの特徴として，調速機能を持たない場合が多く，水車出力と負荷のバランスは，水車の回転速度に対する効率特性を利用して成立させている。このため，無負荷の場合（例，バッテリーが満杯で充電できない場合）などは，水車は無拘束速度となるため，水車は無拘束速度に連続して耐える設計とする必要がある。また、ダミーロードガバナなどの制御装置が不要であるため，経済的にも有利であるが，INV を含めた総合効率は低く，性能面では若干劣る傾向にある。

b　系統連系運転

系統連系運転の場合，一般的に系統容量に対し発電機の容量が大きい場合は同期発電機，小さい場合は誘導発電機を適用し，そのまま系統に連系する方式が国内外を問わず一般的である。

しかし，自家用発電設備の設置者などが，一般電気事業者(電力会社)の配電線に連系する場合は，電気設備技術基準（以下，電技という）の制限や系統連系技術要件ガイドライン(以下，ガイドライン)があり，特に電技の解釈では，逆変換装置が無い場合，逆潮流有りの条件で，発電設備を電力系統に連系することは不可」としていることや，逆潮流がある場合は単独運転検出装置を設けることが求められている。

この対応として，単独運転検出装置が組み込まれている汎用のインバータ（太陽光や風力発電設備用）を利用してシステムを構築している例がある。

①自動車用オルタネータ＋インバータ（特別高圧連系，逆潮流なし）
　　－デンソー幸田製作所(3.6kWx2 台)
②永久磁石式三相同期式電動機(※１)＋インバータ(高圧連系，逆潮流あり)
　　－都留市家中川水力発電所(20kW)
③三相同期発電機＋インバータ（低圧連系，逆潮流あり）
　　－黒保根村利平茶屋(22kW)

(注)高圧連系か，低圧連系かなどは，発電機電圧によるものではなく，発電機が接続される構内の電源設備と電力会社の連系点の電圧となります。

これらの例では，それぞれ使用している発電機は異なるが，選定にあたっては各システムの特徴を考慮して一番経済性が良いシステムを採用している。この点を補足すると，

①の場合、汎用の発電機の中では自動車用オルタネータが安いのでこのクラスの出力（3kW 程度）では，一番使いやすい発電機だということである。なお，このシステムは、出力は 7.2kW であるため，水車１台でオルタネータ２台をベルトで駆動し，インバータ２台を用いて並列運転している。

②の場合，ガイドラインを満足させるためインバータモータのシステムを採用し，単独運転検出機能を持つ系統連系用インバータを利用して連系しようとしたものである。また，インバータモータのシステムを使用することにより水車の可変速運転機能を付加が可能となり，流量変化に対する高効率運転を実現することが出来る。

③の場合，水車発電機のシステムはググラー社の単独運転仕様で，発電機としては標準装備の同期発電機を使用している。このシステムの低圧連系・逆潮流ありには，電技の解釈に従って逆変換装置（インバータ）を設ける必要があったため，特殊仕様の太陽光用インバータを複数台並列運転している。

c　インバータを採用する理由

インバータを使用するシステムとする主な理由は経済性であるが，低圧連系の場合は，電技やガイドラインの要求を満たすためとなる。

d　経済性について

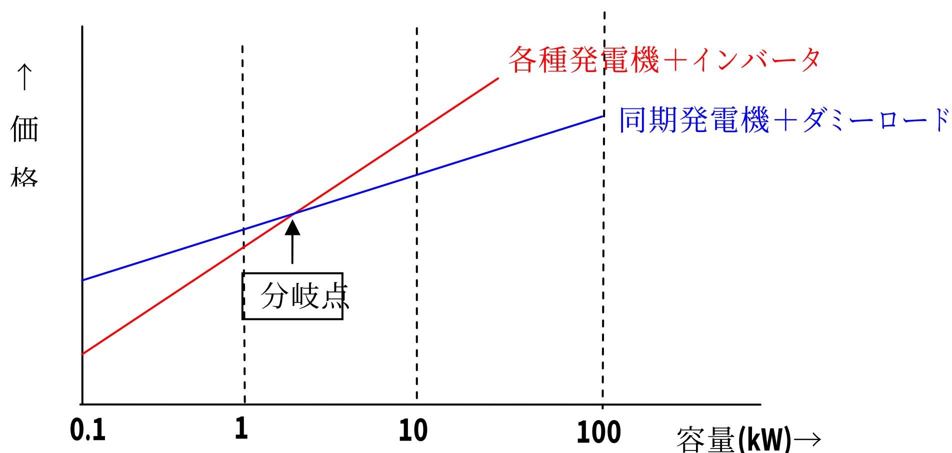
(a) 単独運転の場合

単独運転の場合の経済性は，①「各種発電機＋インバータ」と，②「同期発電機(AVR 含)＋ダミーロードガバナ」のコスト比較によるものとなる。国内調達の場合，同期発電機やダミーロードガバナは全て受注生産方式であるためコストは高く，容量が小さい場合は経済的に不利である。

一方，オルタネータやＰＭＧなどは小さな容量の汎用製品が存在するため，汎用のインバータとの組み合わせにより低コスト化が実現できる。

しかし，容量が大きくなり，どちらも受注生産の領域に達したあたりで，この関係は逆転し，やがて「同期発電機＋ダミーロードガバナ」方式が経済的に有利となる。この関係は、機器の価格のみならず，水車の回転速度制御ができるかどうか。すなわち水車効率の高い点で運転できるかどうかにも関係している。

この容量に対する経済性の概念を図Ⅳ-3.48 に示す。



図Ⅳ-3.48 容量対価格の概念図

なお,経済性の分岐点は,水車の種類やシステム構成などによって異なるが,国内調達の場合，概略数 kW 程度であると推測される。

また，海外調達も含めると，ヨーロッパなどではＡＶＲ組込み式の同期発電機や,ダミーロードガバナなどを 1kW 程度から標準化しているため，「同期発電機＋ダミーロード」のシステムが経済的に優位になる。

(b) 系統連系の場合

経済性は，①「誘導発電機」と，②「各種発電機＋インバータ」のコスト比較となる。国内調達の場合，誘導発電機は標準として製造されていないため特別注文となるが，数 kW 程度の小容量の場合，メーカーが製造に応じてくれない場合があり，入手は極めて困難である。（製造実績も無いと推定）このため，数 kW 程度の場合は，「各種発電機＋インバータ」の採用している例が多い。

しかし，容量が大きくなると(数 10kW 以上)、メーカーも対応してくれるが，この場合は，「誘導発電機」が経済的に優位になる。この容量に対する価格の概念は，単独運転の場合とほぼ同様である。

一方，海外調達を含めると，ヨーロッパメーカーは，2～3kW 程度の誘導発電機からラインアップしているため，この容量ぐらいから誘導発電機が経済的に優位となる。ただし、低圧連系・逆潮流ありのシステムでは，電技やガイドラインにより，現在では「各種発電機＋インバータ」方式が優位である。

e　インバータ使用のシステムの将来性

現在の我が国の小型水力発電は，環境問題の目新しい取り組みや実証研究目的として，数kW程度の小容量のものが着目されており，経済性の面から「各種発電機＋インバータ」を使用するシステムなどが取り入れられている。

しかし，この傾向は，初期段階の過渡的傾向とも考えられ，今後より容量の大きなものに移行する可能性も推測される。

この場合，単独運転の場合は同期発電機、系統連系は誘導発電機といったインバータを使用しないシステムへの移行となる可能性がある。

「ＰＭＧ＋ＩＮＶ」は,経済面から数十kWまでのシステムとしての採用が効果的になると考えられるが,風力や太陽光発電に使用するＰＭＧ及びＩＮＶの標準化,普及が重要な要素となる。

なお，電技やガイドラインの要件で求めている低圧連系・逆潮流ありの単独運転検出装置としても,低価格の製品がリリースされる状況を踏まえ,今後の柔軟な対応が期待される。

第４章　運　転・保　守

４．１　運転（監視・運用）

監視については，電気設備に関して「電気設備に関する技術基準を定める省令」の第 46 条において，「発電所の運転に必要な知識及び技能を有するものが当該発電所又はこれと同一の構内において常時監視しないものは施設してはならない」と規定しており，常時監視が原則とされている。

【解説】

異常が生じた場合に安全，かつ，確実に停止することができるような措置を講じた場合は①随時巡回，②随時監視，③遠隔常時監視の 3 区分にもとづき，保護装置及び警報装置の設置を義務付けている。一方，土木設備に関しては特に規定されたものはない。

「電気設備に関する技術基準を定める省令」の第 46 条は，監視方式区分毎に保護装置，警報装置の設置を義務付ける規定であって，監視内容について規定したものではないことから，自主保安の観点から，必要最小限の監視項目を抽出すれば，監視の合理化を図ることができる。

簡易発電システムにおける監視方式については，その規模から随時巡回が適用でき，簡易通報装置等による遠方監視を採用し，保守員による随時巡回頻度を大幅に低減することが可能である。更に，簡易通報装置等には汎用性の高いインターネットやモバイルによる web 技術を適用すれば，コストダウンも期待できる。

本章では監視システムの開発動向調査結果，簡易発電システムへの適用における課題，技術検討結果について説明し，関係法令との関連についても触れる。また，簡易通報装置等における遠方監視項目（土木及び電気情報）についても検討する。

４．１．１　監視方式の合理化

監視方式の合理化にあたっては，随時巡回方式をベースに保守員による巡回頻度の低減を目的に，必要最小限の情報を遠方でモニタリングすることが推奨される

【解説】

汎用的な製品としてはモバイル，インターネット等があり，最近の技術進歩には目覚しいものがあるため，これら技術を簡易発電システムへ適用することを考慮し，その開発動向を調査した。

（1）モバイル技術の現況

最近のインターネットを含めたモバイル技術の発展は目覚しいものがあり，一般産業のみならず，企業，一般家庭や個人に至るまで，その技術が幅広く浸透し，携帯電話や端末等の汎用的で使用が容易な各種機器が市販されている。

簡易発電システムは出力 500kW 未満を対象とし，発電停止による系統への影響も小

さいと考えられることから，監視区分は随時巡回方式になるが，その監視方法に，このモバイル技術を適用して，遠方監視可能なシステムを構成すれば，随時巡回頻度も大幅に低減し，そのコストダウンも期待できる。ここでは，最近のモバイル技術の現況について調査した。

①モバイルの発展

最近，実用化されている一般用モバイル技術を以下に列記する。

□無線技術
- 公衆無線（携帯電話，PHS 網）
- 無線アクセス（無線 LAN）
- テレビ電話
- 音声通話

□携帯端末
- 携帯電話
- ノートパソコン（PC），PDA 等

  ここで，PDA とは Personal Digital Assistance（Assistant）の略であり，携帯情報端末，電子手帳等を指している。PDA の直訳は「個人用デジタル補助装置」であり，持ち運びが容易な小型コンピュータ等のことである。

  PDA は巡視点検作業に使用されている実績があり，点検記録のペーパーレス化が可能，点検対象設備データの統計的な傾向管理及び点検マニュアル等の参照が作業中に行えるなど，巡視点検作業の効率化に有効である。
- 位置情報端末（GPS）

  ここで，GPS とは Global Positioning System の略であり，衛星利用測位システム，全地球位置発見システム，全地球測位システム，または汎世界測位システム等の表現に訳される。
- デジタルカメラ

②モバイル技術の産業応用

モバイル技術の一般産業への応用例としては，以下に列記する通りである。また，添付資料に「携帯電波網とインターネットを使用した遠隔メンテナンスシステム」，「テレコン付き非常通報装置」の商品紹介例を示す。これは，一般に製品化され商品として販売されているものである。

なお，簡易発電システムへの適用にあたっては，無線・有線に関わらず，公共通信網が既に整備されていることが基本的な条件であり，砂防ダムなど山間部に位置

する適用施設によっては採用できない。

□遠隔監視制御

・リアルタイム監視制御

電圧，電流等の機器状態データをリアルタイムで遠隔監視するシステム

・画像監視

機器状態を ITV カメラ等の画像で遠隔監視するシステム

□維持管理，保守支援

・携帯端末

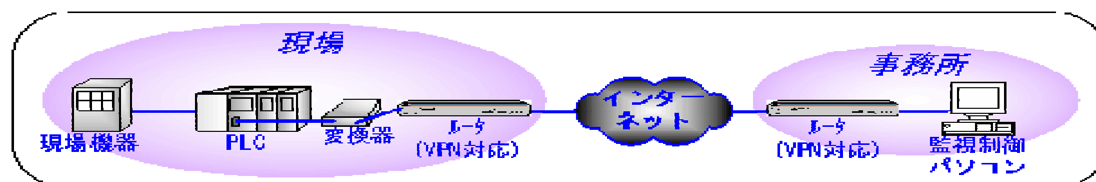
ノートパソコン（PC）や PDA を使用し，機器状態（点検に際して，過去の点検履歴やトレンド情報等データを含む）や機器取扱説明書等の各種情報が，必要に応じて即座に取り出せるシステム

・リモートメンテナンス

遠方から各種情報を取り出せるシステム

（2）インターネットを利用した監視システム

図Ⅳ-4.1 にインターネットを利用した監視システムの構成図を示す。



図Ⅳ-4.1　インターネットを利用した監視システム

インターネットの通信回線は自営または NTT 専用線，一般電話回線，無線，衛星回線等の公共通信回線網を利用することにより，いずれでも実現可能である。また，1 箇所の事務所で複数の現場を監視することも可能であることから，合理的な監視システムを構築することができる。このようなシステムは，既にビル管理や上下水道設備監視で実績があり，簡易発電システムへの適用も可能であると考えられる。

なお，前述したように簡易発電システムへの適用にあたっては，無線・有線に関わらず，公共通信網が既に整備されていることが基本的な条件であり，砂防ダム等の適用施設によって整備されていない場合があること，また，工場等構内に簡易発電システムを設置する場合は，随時巡回した方が効果的な場合もあるので，通信網を利用した監視システムの構築にあたっては，地点によりケースバイケースでの検討が必要である。

ここで留意しなければならないのは，通信網を整備するためのイニシャルコストアップと点検周期の延長や事故対応の迅速化といったランニングコストの低減について損失を検討し，採用の可否を決めることが求められる。

インターネットは汎用的な通信手段である反面，不特定多数の一般公衆とも連系していることから，簡易発電システムへの適用にあたっては不正なアクセスによるデータ外部漏洩や故意な操作によるシステム破壊等，セキュリティに万全を来す必要もある。不正アクセスから防御するためのセキュリティ方法として，以下にその一部を紹介する。

①パケットフィルタリング型ファイアウォール

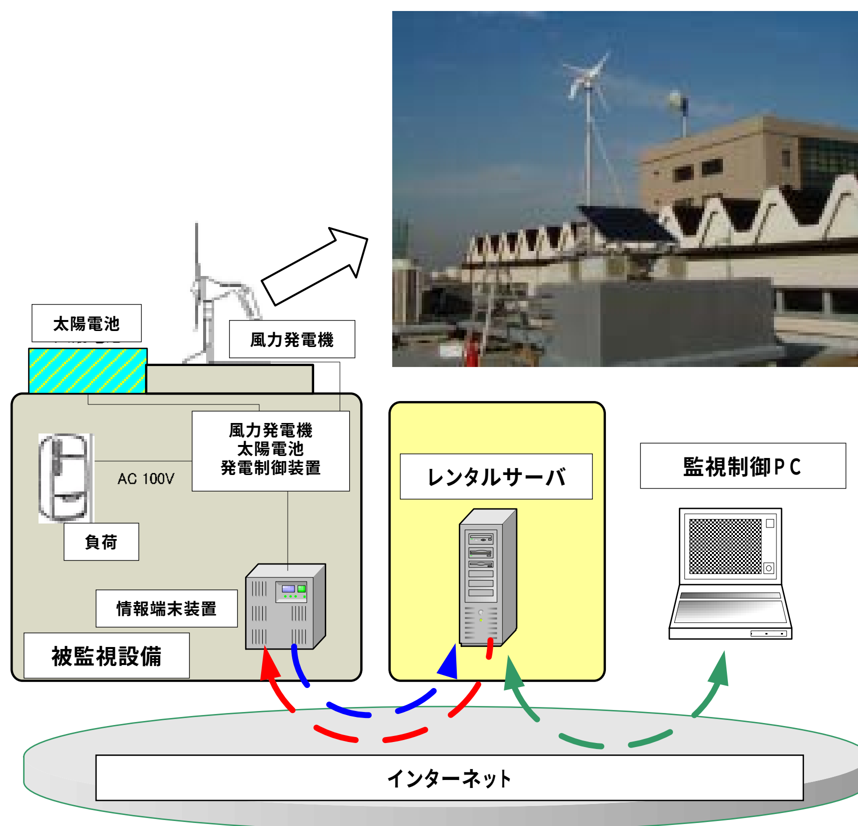
インターネットとの連系点にファイアウォール（フィルタ）を設定し，入出力通信データの監視を行うもので，送信元や送信先の IP アドレス，ポート番号などによって通信データを通過させるか否かを判断させるタイプのものである。

②アプリケーションゲートウェイ型ファイアウォール

インターネットとの連系点にファイアウォール（フィルタ）を設定し，入出力通信データの監視を行うもので，通信を中継するプロキシサーバを利用し，送信元と送信先を直接通信できないようにするタイプのアプリケーションによるファイアウォールである。

次に，インターネットを利用した監視システムとして，某電力会社にて実施されている長期伝送実証試験の事例を紹介する。これは，複数の分散型電源設備及び小規模受電設備の遠隔監視を合理的に行うことを目的に，インターネット技術と小型情報端末を組み合せたシステムとして小規模風力・太陽光ハイブリッド発電装置を被監視設備として長期伝送実証試験を実施しているもので，設備のメンテナンスサービスに低コストで適用可能としている。

図Ⅳ-4.2 に遠隔監視システムの概略図，被監視設備外観状況を示す。また，表Ⅳ-4.1 に被監視設備の機器仕様を示す。



図Ⅳ-4.2　インターネットを利用した遠隔監視システム構成図

表Ⅳ-4.1　小規模風力・太陽光ハイブリッド発電装置仕様

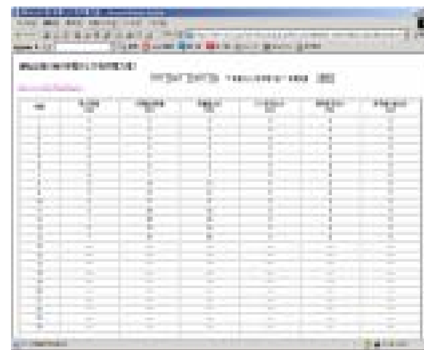
風力発電機		太陽電池	
定格連続出力	450W	定格連続出力	256W
翼　　　　径	1.17m	パ　ネ　ル　数	2 枚
定格回転速度	1,170min^{-1}		

本システムは，小型の情報端末装置と ADSL 等の汎用インターネット回線及びレンタルサーバ（データベース及び監視用ホームページ）で構成されている。情報端末から自動的にサーバに報告される機器情報は，汎用 web ブラウザ等を用いて監視することができる。これらのシステムには，従来の監視制御装置のような特殊な機器は用いられていない。

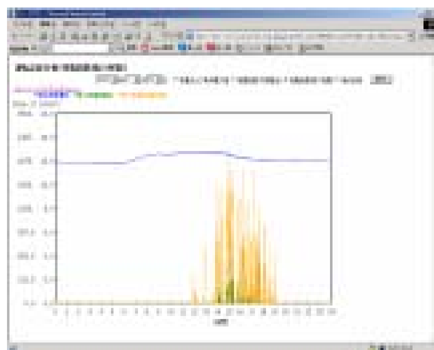
小規模風力・太陽光ハイブリッド発電装置と組み合わせた長期伝送実証試験では，システムの性能・信頼性等を確認し，監視システムの完成度を高め、将来は分散型電源設備や小規模受電設備を始めとする設備のメンテナンスサービスに低コストで適用可能であると考えている。図Ⅳ-4.3 は，web ブラウザの表示画面（例）を示したものである。



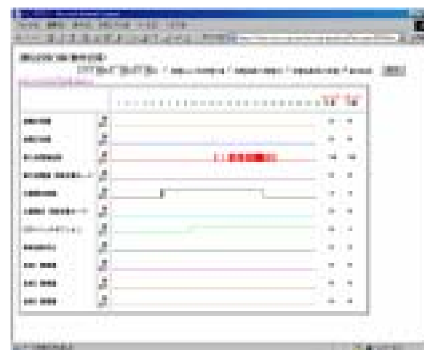
メインページ
プラント状態をミミック表示して監視するとともに，機器制御操作を実施する。任意の過去履歴表示も可能である。



運転記録ページ
任意時点の日報･週報･月報を帳票表示する。



トレンドグラフページ
任意月日のアナログ監視データについてグラフ表示し，機器状態の傾向管理が可能である。



機器動作記録ページ
任意月日の機器動作状態について、チャート図表示による実績表示が可能である。

図Ⅳ-4.3　ｗｅｂブラウザの表示画面（例）

４．１．２　簡易発電システムでの監視項目

簡易発電システムにおける監視項目，計測装置について，関係法令等の確認と簡易通報装置等による遠方モニタリング項目の策定，その適用可能性について，開発動向調査結果を踏まえた監視方式の合理化策を検討した。

【解説】

（１）法令区分

監視については，電気設備に関して「電気設備に関する技術基準を定める省令」の第46条において，随時巡回，随時監視，遠隔常時監視に区分され，必要な保護装置及び警報装置の設置を義務付けているが，何を監視すべきなのかは規定されていない。

前述した平成9年に実施された「電気設備に関する技術基準を定める省令」改正以前には，計測装置に関する規定条文が存在したが，自主保安及び自己責任等の観点から削除された。このため，監視及び計測項目については，関係法令での規定はない。JEAC5001-2000「発変電規程」では，この部分を補完するために計測項目の規程があるが，これはあくまでも指針として示したものであり，具体的に何を監視，計測するのかの判断は当事者に委ねられている。発変電規程では計測装置を「電圧及び周波数の管理，電気機械器具の容量限界の監視，電力潮流の適正配分による安定した系統構成の維持及び運用等，発変電所の運転上必要なもの」と定めている。

一方，土木設備の監視に関しては法令で規定されたもの，指針等で示されたものはない。

（２）遠方監視項目，適用可能性検討

簡易発電システムの随時巡回において，現地での監視及び計測にあたっては，前述したように法的制約はないが，通常，発変電規程(JEAC 5001)にもとづき，表Ⅳ-4.1-2に示すように簡素化を図ることが考えられる。基本的に巡視点検時の機器状態，運転状況等は保守員の五感に委ねられる部分があるが，保守員でなくても確認できる必要最小限の計測装置を考えた。

表Ⅳ-4.2　簡易発電システムに適用する計測装置

	監視，計測項目	JEAC 5001-2000	簡易発電システムに適用する計測項目	JEACでの補足
		随時巡回方式		
1	圧力	○	× 基本的に油圧は使用しない。	
2	軸受温度	○	× 500kW 未満であることから，監視は必要としない。	施設する場合は記録計でも良く，小容量の水車発電機ではサーモラベル，可搬型温度計による間接的な測定方法で良い。
3	無効電力または力率	○	× 電圧調整の責務は負わない。	
4	電流または電力	○	○ 電力については，運転状況の監視に必要である。	施設する場合は記録計でも良く，発電機毎ではなく，発電所合計で差し支えない。
5	固定子巻線温度	×	× 保護項目に入っていない。	記録計でも良く，小容量の水車発電機の場合は，固定子鉄心に温度計を貼り付けた間接的な測定方法で良い。
6	電圧	○	○ 運転状況の監視に必要である。	記録計でも良い。
7	電力量	×	× 電力量計で積算されている。	

基本的に監視及び計測項目は，運転状況が確認できる電力，電圧が確認できれば良いと考えた。一方，土木設備に関しては，取水量や水位，水質，ダム堤体等の漏水量など継続的な計測項目はあるが，これら項目は運転状況を確認するうえで緊急性のある情報ではなく，電気設備と同様に，監視及び計測項目に関しては法的制約はないことから，簡易発電システムにおいて対象項目はなしとした。

簡易発電システムは随時巡回方式に区分されるが，保守員による巡回頻度の低減を目的に，必要最小限の情報を遠方でモニタリングする方法が考えられる。この場合，電気設備では前述の電力，電圧の計測項目以外に並列用遮断器開閉，故障警報一括表示及び必要により，水車発電機の運転停止（電力で確認することも可能）項目を加える。なお，土木設備では取水設備の塵詰状況やその他設備監視のための ITV が考えられるが，本来，随時巡回で必要としている設備ではなく，コストアップにも繋がることから考慮しない。

遠方でのモニタリング機器は，前述した開発動向調査にもある遠隔メンテナンスシステム等の一般市販品の適用が可能であり，既に他分野での実績もあることから，簡易発電システムへの適用にあたっては支障ない。

簡易通報装置等による遠方モニタリングは，既設の通信手段（電話回線等）を利用することが原則であるが，砂防ダム等の適用施設によっては，通信手段そのものが存在せず，通信手段を新規に構築しなければならないケースもあることから，適用にあたっては随時巡回頻度低減によるコスト比較が必要である。

[参考]　監視方式の合理化の事例

> 簡易発電システムにおいては，現地特性に十分配慮したうえでの監視方式の合理化が望まれるが、参考としてその一例を示す。

【解説】

監視については，電気設備に関して「電気設備に関する技術基準を定める省令」の第 46 条において常時監視が原則とされているが，異常が生じた場合に安全，かつ，確実に停止することができるような措置を講じた場合は①随時巡回，②随時監視，③遠隔常時監視が可能とされていて,それぞれの区分にもとづき保護装置及び警報装置の設置を義務付けられている。

一方，土木設備に関しては特に規定されたものはない。

簡易発電システムにおける監視方式については，その規模から随時巡回が適用でき，簡易通報装置等による遠方監視を採用し，保守員による随時巡回頻度を大幅に低減することが可能である。

上記の遠方監視装置については，モニタリング調査の中で

1）簡易通報装置（インターネット,携帯電話など）

2）携帯電話（動画対応）による監視

などについての事例があった。これらの技術による監視の合理化については,平成 15 年度(昨年度)に検討を行っている。このうちの「携帯電話（動画対応）による監視」については取水口など土木設備に関する監視にも応用可能である。

また，昨年度までの調査・検討では，簡易発電システムにおける監視方式はその規模から随時巡回が適用でき，簡易通報装置等による遠方監視を採用し，保守員による随時巡回頻度を大幅に低減することが可能であるとし，簡易通報装置等に汎用性の高いインターネットやモバイルによる web 技術を適用すれば，コストダウンも期待できると述べた。しかし，発電設備を設置する事業者に，これらの専門的な知識や経験を有する人材がいない場合,監視を外部委託化することにより,ケースによっては経済性が得られる可能性がある。

以下に，監視受託業者およびメーカーについて調査・検討を実施した。

（1）監視受託業者

監視は保守員（事業者）による巡視，電気主任技術者による巡視，遠方監視（電話回線を利用した簡易通報装置，携帯電話等）がある。簡易発電システムでは，随時巡回が主流になり，遠方監視は巡視頻度の低減が期待できる一方，保守員が 24 時間監視で拘束され，業務負担増の懸念もあることから外部委託可能な業者を調査した。

電気主任技術者を事業者で選任できない場合（該当する有資格者がいない），一般的に，○○電気保安協会へ外部委託することになるが，平成 15 年 7 月「保安管理業務外部委託制度（電事法施行規則の一部を改正する省令）」を受けて，特定法人枠が廃止さ

れたことから，これ以外に監視業務も含めた外部委託可能な業者（△△電気保安業者）を調査した。

表Ⅳ-4.3 は，両者が受託する業務内容を示したものである（一例を示す。○○電気保安協会，△△電気保安業者は，いずれも複数の協会及び業者があり，必ずしもここで示した業務内容とは限らない）。

表Ⅳ-4.3　業務内容比較（一例）

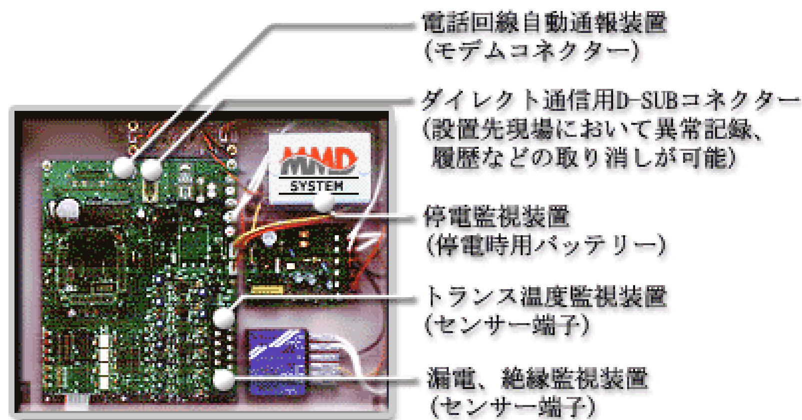
○○電気保安協会	△△電気保安業者
1．対象 7kV以下の受電設備（高圧） 発電所1，000kW未満 低圧で発電設備を含む受電設備 2．保安管理業務 (1) 月次点検（運転中） (2) 年次点検（停止中） （(1)(2)：電気主任技術者不要　保安規程作成、届出） (3) 臨時点検 (4) 監視業務* (5) 事故対応 (6) 補償保険（一部協会）	1．対象 7kV以下の受電設備（高圧） 発電所1，000kW未満 低圧で発電設備を含む受電設備 2．保安管理業務 (1) 月次点検（運転中） (2) 年次点検（停止中） （(1)(2)：電気主任技術者不要　保安規程作成、届出） (3) 臨時点検 (4) 監視業務* (5) 事故対応 (6) 補償保険

監視業務*：○○電気保安協会では漏電･絶縁監視（一部協会では，△△電気保安業者並みの監視）
△△電気保安業者では漏電･絶縁監視，停電監視，Tr温度監視

両者とも，基本的には保安管理業務が主であり，電気主任技術者，保安規程，点検計画及び点検実施，事故対応等について，発電設備を設置した事業者から委託を受けて，これらの業務を実施するものである。

また，業務内容の中には監視業務も含まれているが，保安管理業務も含めて，基本的には受変電設備を対象としている。このため，監視項目は「漏電・絶縁監視」，「停電監視」，「温度監視」であり，発電設備を対象とする場合は，個別に協議する必要がある。

写真Ⅳ-4.1 は，△△電気保安業者の監視通報装置を示したものである。監視要素は上述した 3 点であり，モデムを搭載し，電話回線により自動通報する機能を有している。また，故障履歴をメモリする機能もある。この装置は委託費用の中に盛り込まれ，リースすることにより，事業者は購入する必要はない。



写真IV-4.1　監視通報装置（△△電気保安業者）

図IV-4.4 は，△△電気保安業者が試算した経費節減の実例である。○○電気保安協会に委託した場合と比較して，設備容量 1,500kVA では，約 25%の経費節減になるとしている。経費は設備容量，点検内容等により差異があるが，設備容量が小さいほど，経費節減率が大きくなるようである。

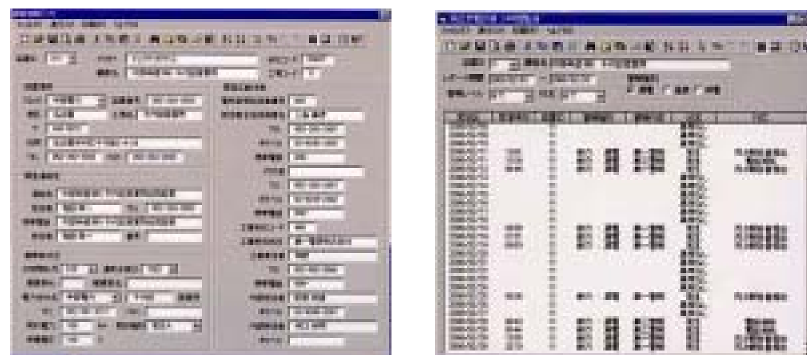


図IV-4.4　経費節減の実例（△△電気保安業者）

図IV-4.5 は，△△電気保安業者の情報ネットワークを示したものである。設備監視データは，各電力会社管内に集約し，一元管理されている。データは設備監視のほかに顧客データも含まれる（名称，所在地，連絡先など）。図IV-4.6 に，顧客及び設備監視データの管理画面を示す。



図IV-4.5　情報ネットワーク（△△電気保安業者）



図IV-4.6　顧客及び設備監視データ管理画面（△△電気保安業者）

△△電気保安業者では，保安管理業務に関わる補償保険も取り扱っており，その補償内容を表IV-4.4に示す。なお，この補償保険に関しては，一部の○○電気保安協会でも，同様な補償内容について取り扱っている。

表Ⅳ-4.4　補償保険（△△電気保安業者）

受託者賠償責任保険 対物事故 100 万円	請負業者賠償責任保険 対人･対物事故（共通） 1 億円	生産物賠償責任保険（PL 法） 対人･対物事故（共通） 1 億円
免責金額 3 万円 （1 事故･年間）	免責金額 1 万円 （1 事故）	免責金額 1 万円 （1 事故）
作業のために訪問した客先で，工事と関係ない器物や備品等に損害を与えた場合	設置工事中，メンテナンス業務中，保安業務中の客先や第三者への賠償事故	製品事故や引き渡し後，又は作業完了後の客先や第三者への賠償事故

他業種における，以上のような遠方監視システムの適用事例としては，LPG/灯油残量監視，設備防犯（ビル，ホームセキュリティ），運送管理，水位・水質監視，計測データ管理，エレベータ監視などがある。

（2）メーカー（M社）

前項は，基本的に受変電設備を対象とした保安管理業務，監視業務を外部委託する例であった。ここでは，発電設備の監視を外部委託する事例として，メーカー（M社）が提供している「発電設社」を調査した結果について説明する。備リモート監視システム」は，コージェネレーションシステムを対象に，発電設備の監視委託（及び保守委託）を行うもので，

□顧客に代わり，発電設備をリモート監視センターで 24 時間監視する。
- 定期的なデータ収集
- 日報／月報作成
- 故障発生時のデータ履歴収集

□運転時間から部品交換時期，点検時期を通知する。
□設備の異常兆候を検出し，事故未然防止を図る。
□顧客も公衆回線経由で事務所，移動先などから設備監視が可能である。

図Ⅳ-4.7 にシステム概要を示す。なお，サービス内容は添付資料に示した。



図Ⅳ-4.7　発電設備リモート監視システム概要（M社）

監視業務の年間委託契約料は，コジェネ発電機1台あたり約50万円であり，保守委託契約は別途扱いとなる。コストアップとなる要素もあるが，既に構築されたシステム（水力発電設備への導入実績はない）であり，ケースによってはコストダウンになると期待される。

（3）監視の合理化に関するまとめ

先述したように，監視については常時監視が基本であるが，異常が生じた場合に安全，かつ，確実に停止できるような処置を講じた場合は，保護装置及び警報装置の設置を前提に，

① 随時巡回
② 随時監視
③ 遠隔常時監視

といった対応が可能である。

簡易発電システムにおいては，事業者の管理体制（人員,組織，対応の可能性）を勘案したうえ，上記のような技術や対応を参考にするとともに，監視項目を必要最小限に絞り込むことによって，監視の合理化を図るものとする。

４．２　保守（点検・管理）

　簡易発電システムに対する保守（点検・管理）は，一般に巡視点検，定期点検，細密点検のような経年計画を立案して定期的に実施する点検と，自然災害（地震，台風，洪水，豪雨等異常気象）発生直後に実施する臨時点検，また，事故時復旧や不具合補修等に対応した点検を通じ，適切に維持管理する。

【解説】

　簡易発電システムにおける保守を合理化するためには

① 経年的に実施する定期点検等の頻度低減

② 定期点検等の対象項目の低減

③ 点検に伴う消耗部品等の削減

を図る必要がある。これらランニングコストの低減は，簡易発電システム運転開始以降の経費節減（コストダウン）に大きく寄与する。

　近年，機器の余寿命診断技術の開発があり，この技術の応用によって定期点検の頻度や項目，各種部品の補修・補強・交換計画などを合理的に決定することが考えられる。しかし，簡易発電システムはこれからの普及・促進を目指した新しい分野であり，余寿命判断を背景にした定期点検計画や部品交換の合理化を評価するための充分なデータが得られていない状況にある。

　従って，ここでは，簡易発電システムにおける土木設備及び電気機械設備に対し，点検の現状，考え得る合理化策，標準的な点検頻度と項目（内容）等について検討する。

４．２．１　土木設備

　一般水力発電所の土木設備は，地形，地質，気象等の自然環境および社会環境等に対応する必要があり，また，風雨等の自然環境に起因する障害を受けやすく，地域社会に及ぼす影響も大きいことから，常に計画性と細心の注意を持って維持管理を行う必要がある。簡易発電システムの土木設備に関しては，適正な点検項目と頻度を策定することにより，保守にかかる費用をできるだけ低減できるよう，状況を見ながら柔軟に対応するものとする。

【解説】

　これまで建設・運転されてきた一般水力では，規模が小さくとも，工作物の異常の有無，周辺状況の把握，機能の確認のため，定期的な点検を行い，必要に応じ手入れを行っている。また，点検の頻度，項目等については工作物の構造，重要度，経過年数等を総合的に勘案して定めている。

　しかし，簡易発電システムにおいては，点検項目（点検箇所）と頻度を絞り込むなどできるだけ合理化し,維持管理費のコストダウンを図るものとする。そのため,状況を見ながら点検項目と頻度を変更するなど,柔軟な対応が求められる。

　以下に,土木設備に関する点検の現状と，合理化の可能性について解説する。

（１）土木設備に関する点検の現状

　表Ⅳ-4.5 に土木施設の点検の一例を示す。表に示されるように，一般には定期的な点検以外に，地震，洪水，大雨の前後，その他必要に応じ臨時点検が行われている。

　また，平成 14 年度に実施した出力 1,000kW 程度以下の発電所に対するアンケート調査では，土木設備の運転・保守の実状として，巡視点検は 1 回/月，定期（外部）点検は 1 回/1～2 年，内部点検は 1 回/5～10 年という結果を得た。

表IV-4.8(1)　定期点検の内容の一例

工作物	対象工作物	内容
1.貯水池 調整地	湛水池内	・流木の浮遊状況 ・水質（濁水，赤潮等）の異常の有無および状況 ・背水末端の状況
	周辺地山	・崩壊，地すべり，洗掘等の確認 ・護岸，よう壁等の沈下，ひびわれ，はらみ等の確認 ・堆砂測量用横断標識の確認
2.ダム	ダム本体	
	（コンクリート）	・表面の損傷，凍害，摩耗，ひびわれ等の確認 ・漏水の位置，量，濁りの確認
	（フィルタイプ）	・表面ロックの転落，陥没，風化等の確認 ・表面しゃ水壁の亀裂，ふくらみ，風化，劣化等の確認 ・漏水の位置，量，濁りの確認
	放流設備 （洪水吐ゲート 放流路 放流管）	・戸当り，固定部の損傷，変形，摩耗，漏水等の確認 ・扉体および巻上機の損傷，変形，摩耗，給油，塗膜の劣化等の確認 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作，絶縁抵抗等の異常の有無および状況 ・各機器の指示計，スイッチ類，表示ランプの状況
	予備動力装置	・機関部の締付ボルトのゆるみ，漏油，摩耗，変形，過熱，異音，異臭，油圧低下，不完全燃焼等の確認 ・起動装置の電圧低下，充電器の不良，冷却水槽の損傷等，異常の有無および状況 ・キュービクル内の表示ランプ，接点等の異常の有無および状況
	ゲート制御装置	・各装置単体試験，対向試験，駆動試験等，作動状況の確認
	放流警報設備	・作動状況の確認
	周辺地山	・漏水，亀裂，崩壊，地すべり等の確認
	周辺構造物 （エプロン 導流壁 橋梁 よう壁 ダム上下流護岸 その他）	・凍害，摩耗，洗掘，ひびわれ，変位等の確認
	堤内排水設備	・作動状況，異音，振動等の確認
	その他設備 （水位計 量水標 浮さん橋 網場 保安柵 測定装置 照明設備 その他）	・損傷，喪失，発錆等の確認
3.水路 (1)取水口	本体	・損傷，変形，ひびわれ，凍害，摩耗，洗掘等の確認
	スクリーン	・損傷，変形，取付ボルトのゆるみ，塗膜の劣化等の確認
	ゲート	・戸当りの損傷，変形等の確認 ・扉体および巻上機の損傷，変形，摩耗，給油，塗膜の劣化等の確認 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作，絶縁抵抗等の異常の有無および状況 ・各機器の指示計，スイッチ類，表示ランプの状況
	網場	・アンカー金物，ワイヤーの損傷，浮さん橋の腐食，損傷等の確認
	除塵機	・レーキの損傷，走行装置・コンベアの異常，腐食，塗膜劣化等の確認
(2)沈砂池	沈砂池内	・池内の状況 ・その他異常の有無
(3)導水路	周辺地山	・崩壊，地すべり，湧水等の確認
	水路内部	・漏湧水，ひびわれ，洗掘，はだ落，変形，堆砂，塗膜劣化等の確認
	その他設備	・凍害，ひびわれ，漏水等の確認
(4)調圧水槽， 水槽	本体	・損傷，変形，ひびわれ，凍害，摩耗，洗掘等の確認
	周辺地山	・崩壊，地すべり，湧水等，異常の有無および状況

出典：『中小水力発電ガイドブック（新訂５版）』（新エネルギー財団　水力本部）

表IV-4.8(2)　定期点検の内容の一例

工作物	対象工作物	内容
(5)水圧管路 余水路	鉄管路	・損傷，変形，沈下等の確認
	水圧鉄管 （外面）	・管胴および支承部の損傷，変形，振動，漏水，塗膜劣化等の確認
	水圧鉄管 （内面）	・損傷，変形，塗膜劣化等，異常の有無および状況
	周辺地山	・崩壊，地すべり，湧水等の確認
(6) 発電所	発電所基礎	・変形，ひびわれ，湧水等の確認
	周辺構造物	・変形，ひびわれ，湧水等の確認
(7) 放水路	ゲート	・戸当りの損傷，変形等の確認 ・扉体および巻上機の損傷，変形，摩耗，給油，塗膜劣化等の確認 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作，絶縁抵抗等の異常の有無および状況 ・各機器の指示計，スイッチ類，表示ランプの状況
	水路内部	・漏湧水，ひびわれ，洗掘，はだ落，変形，堆砂，塗膜劣化等の確認
	周辺構造物	・変形，ひびわれ，湧水等の確認
(8) 放水口	本体	・損傷，変形，ひびわれ，凍害，摩耗，洗掘等の確認
	ゲート	・戸当りの損傷，変形等の確認 ・扉体および巻上機の損傷，変形，摩耗，給油，塗膜劣化の確認 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作，絶縁抵抗等の異常の有無および状況 ・各機器の指示計，スイッチ類，表示ランプの状況
	周辺構造物	・変形，ひびわれ，湧水等の確認
(9)取水設備		・ダム，取水口および導水路に準ずる。
4.その他工作物	土捨場	・崩壊，地すべり，湧水等の確認 ・緑化の状況
	進入道路	・路面の状況 ・よう壁，橋梁等，構造物の異常の有無および状況
	その他	・変形，ひびわれ，湧水等の確認

出典：『中小水力発電ガイドブック（新訂５版）』

（新エネルギー財団　水力本部）

（2） 取水設備に関する点検合理化の可能性

a 点検項目削減の可能性

前述のとおり，点検項目に関する具体的な法的規定は存在しない。

しかし，“ 経済産業省で定める技術基準 ” に適合するよう，自己責任のもとに自主的に維持管理を行うためには，具体的な点検項目を決定しなければならない。

一方，簡易型発電システムにおいては，出力が小さく安全面において他に影響を及ぼすことが少ないものと考えられる。さらに，停止による電力供給面での信頼度の低下が系統に与える影響も小さいと考えられる。

従って, 簡易発電システムの土木設備に対して,“ 経済産業省で定める技術基準 ” に適合させ得るために最低限必要な点検項目について検討した。

そのために，まず既往小水力発電所における発電出力低下及び発電停止となった事故に対し，その原因を調査した。その結果，小水力発電所の出力低下・発電停止の原因は，主に以下の示す事項に集約される。

- ・ スクリーンに流木，落葉が詰まること，
- ・ 取水口，沈砂池に洪水により土砂が堆積すること
- ・ 水車ランナー，ガイドベーン等にゴミが詰まること

従って，小水力発電所に対する点検においては，取水口等スクリーン設置箇所の塵芥（除塵機の正常動作），沈砂池の堆砂状況を重点的に実施する必要があるものと判断される。

また，簡易発電システムにおいて，電気工作物の損壊が第三者に影響を与える可能性が大きいのは，水圧管路の破損・損傷である。従って，取水口付近の点検に加え，水圧管路についても適切な点検が必要になる。

簡易発電システムにおいては，上記重点事項へ絞り込むことにより，一般の水力発電所の点検項目に対する削減が可能である。

b 点検頻度低減の可能性

点検項目の低減に対する検討と同様に，設備の延命化によるコストダウンを図るため，定期的な点検により各種電気工作物の異常の有無を確認し，必要に応じて適切な対応を計ることも重要である。しかし，この定期的な点検については，過度な頻度で実施された場合はランニングコストの増加を招く可能性もある。

そこで，簡易型発電システムの採用を前提に，最低限の点検頻度について検討した。

一般水力発電所の点検は，巡視点検，定期点検（外部点検及び内部点検），臨時点検に区分している。ここで，

○ **巡視点検とは**，工作物の異常の有無及び周辺の状況を把握するために行う見回り，軽微な手入れをいう。

○ **外部点検とは**，工作物の異常の有無，機能の確認，その状況を把握するために定期的に行う点検，手入れをいう。

○ **内部点検とは**，抜水状態等で水路内部の異常の有無，機能の確認等その状況を把握するために定期的に行う点検，手入れをいう。

○ **臨時点検とは**，地震，洪水，大雨の前後，その他必要に応じて行う点検，手入れをいう。

表Ⅳ-4.9 に一般的な土木構造物の巡視・点検内容事例を示す。

簡易発電システムにおいては，規模が小さいことから安全面において他に影響を及ぼすことが少なく，発電停止による系統への影響も少ないと考えられる。

また，簡易発電システムでは，土木設備の一部（あるいは大部分）を既存の設備の兼用で対応するため，発電専用の施設は比較的少ない。

以上のことから，簡易発電システムにおいては，一般の水力発電所の点検頻度に対する低減が可能である。

なお，『水門鉄管技術基準』では，以下のような規程がある。

> （管内点検）
> 第100条　水圧鉄管は必要に応じて管内の水を排水し，水圧鉄管の維持に必要な点検を行わなければならない

この規程は水圧管路の内部点検に関係する。しかし，簡易発電システムにおいては管路の内径が比較的小さいため，具体的な点検方法やマンホール（ハンドホール）の設定などが課題となる。今後は，上記規程について，上水道や下水道の事例などを参考に検討する必要があるものと考えられる。

表IV-4.9(1)　一般水力発電設備土木構造物の巡視・点検内容事例　（巡視点検－1）

工作物	対象工作物	点検内容	点検周期
1. 堰，ダム	堤体	表面の損傷の有無及び状況	1回/月
		漏水の状況	1回/月
	周辺地山	漏水，亀裂，崩壊，地すべり，洗掘等の有無及び状況	1回/月
	その他（水位計，量水標，保安柵，照明等）	損傷，喪失，異常の有無及び状況	1回/月
2.水　路 (1)取水口	本体	損傷等，異常の有無及び状況	1回/月
	スクリーン	塵芥，堆砂（流れ込み式）等の有無及び状況	1回/月
	ゲート	電源，装置ロック等の状況	1回/月
		機器類の整備状況	1回/月
		その他異常の有無及び状況	1回/月
	網場及び除塵機	塵芥等，異常の有無及び状況	1回/月
(2)沈砂池	沈砂池内	池内の状況	1回/月
		その他異常の有無及び状況	1回/月
(3)導水路	周辺地山	崩壊，地すべり等異常の有無及び状況	1回/月
	その他設備	損傷，漏湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
(4)水槽 （ヘッドタンク）	本体	損傷等，異常の有無及び状況	1回/月
	周辺地山	崩壊，地すべり，湧水等異常の有無及び状況	1回/月
(5)水圧管路	水圧管路	損傷，変形，沈下等異常の有無及び状況	1回/月
	水圧鉄管（外面）	管胴及び支承部の損傷，変形，漏水等，異常の有無及び状況	1回/月
(6)発電所	発電所基礎	変形，ひびわれ，湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
(7)放水路	ゲート	電源，装置ロック等の状況確認	1回/月
		機器の整備状況	1回/月
		その他異常の有無及び状況	1回/月
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等，異常の有無及び状況	1回/月

表Ⅳ-4.9(2)　一般水力発電設備土木構造物の巡視・点検内容事例　（巡視点検－2）

工作物	対象工作物	点検内容	点検周期
(8)放水口	本体	損傷，漏湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
	ゲート	電源，装置ロック等の状況確認	1回/月
		機器の整備状況	1回/月
		その他異常の有無及び状況	1回/月
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
3．その他構造物	土捨場	崩壊，地すべり，湧水等，異常の有無及び状況	1回/月
	進入道路	陥没，転石等，異常の有無及び状況	1回/月
		よう壁，橋梁等構造物の異常の有無及び状況	1回/月
	その他	損傷，漏湧水等，異常の有無及び状況	1回/月

＊1)　農水は，期別毎に取水量が変化するので流量確認を兼ねて年4回の頻度とした。
＊2)　河川から直接取水する場合周辺環境によって巡視の頻度を変更することができる。
＊3)　冬期の積雪等により，この基準により難い場合は，頻度を変更することができる。

表Ⅳ-4.9(3)　一般水力発電設備土木構造物の巡視・点検内容事例　（定期点検（外部，内部）－1）

工作物	対象工作物	点検内容	点検周期
1. 堰，ダム	堤体	表面の損傷，凍害，磨耗，ひびわれ等の確認	1回/6ヶ月
		漏水の位置，量，濁りの確認	1回/6ヶ月
	周辺地山	漏水，亀裂，崩壊，地すべり，洗掘等の確認	1回/6ヶ月
	その他（水位計，量水標，保安柵，照明等）	損傷，喪失，発錆等の確認	1回/6ヶ月
2. 水　路 (1)取水口	本体	損傷，変形，ひびわれ，凍害，磨耗，洗掘等，の確認	1回/6ヶ月
	スクリーン	損傷，変形，取り付けボルトのゆるみ，塗膜の劣化等の確認	1回/6ヶ月
	ゲート (扉体，戸当り，巻上機)	損傷，変形，磨耗，給油，塗膜の劣化等の確認	1回/6ヶ月
		操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作等の異常及び状況	1回/6ヶ月
		各機器の指示計，スイッチ類表示ランプの状況	1回/6ヶ月
	網場	アンカー金物，ワイヤーの損傷等の確認	1回/6ヶ月
	除塵機	レーキの損傷，走行装置，コンベアの異常，腐食，塗膜劣化等の確認	1回/6ヶ月
(2)沈砂池	沈砂池内	池内の状況	1回/6ヶ月
		その他異常の有無	1回/6ヶ月
(3)導水路	周辺地山	崩壊，地すべり，湧水等の確認	1回/6ヶ月
	水路内部	漏湧水，ひびわれ，洗掘，はだ落，変形，堆砂，塗膜劣化等の確認	1回/3年
	その他設備	損傷，ひびわれ，漏湧水等の確認	1回/6ヶ月
(4)水槽 （ヘッドタンク）	本体	損傷，変形，ひびわれ，凍害，磨耗，洗掘等の確認	1回/6ヶ月
	周辺地山	崩壊，地すべり，湧水等異常の有無及び状況	1回/6ヶ月
(5)水圧管路	水圧管路	損傷，変形，沈下等の確認	1回/6ヶ月
	水圧鉄管（外面）	管胴及び支承部の損傷，変形，振動，漏水，塗膜劣化等の確認	1回/6ヶ月
	水圧鉄管（内面）	損傷，変形，塗膜劣化等，異常の有無及び状況	1回/3年

表IV-4.9(4)　一般水力発電設備土木構造物の巡視・点検内容事例　（定期点検（外部，内部）－2）

工作物	対象工作物	点検内容	点検周期
(6)発電所	発電所基礎	変形，ひびわれ，湧水等の確認	1回/6ヶ月
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等の確認	1回/6ヶ月
(7)放水路	ゲート	損傷，変形，磨耗，給油，塗膜の劣化等の確認	1回/6ヶ月
		操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作等の異常及び状況	1回/6ヶ月
		各機器の指示計，スイッチ類表示ランプの状況	1回/6ヶ月
	水路内部	漏湧水，ひびわれ，洗掘，はだ落，変形，堆砂，塗膜劣化等の確認	1回/3年
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等の確認	1回/6ヶ月
(8)放水口	本体	損傷，変形，ひびわれ，凍害，磨耗，洗掘等の確認	1回/6ヶ月
	ゲート	損傷，変形，磨耗，給油，塗膜の劣化等の確認	1回/6ヶ月
		操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作等の異常及び状況	1回/6ヶ月
		各機器の指示計，スイッチ類表示ランプの状況	1回/6ヶ月
	周辺構造物	変形，ひびわれ，湧水等の確認	1回/6ヶ月
3. その他構造物	土捨場	崩壊，地すべり，湧水等の確認	1回/6ヶ月
	進入道路	路面の状況	1回/6ヶ月
		よう壁，橋梁等構造物の異常の有無及び状況	1回/6ヶ月
	その他	損傷，ひびわれ，漏湧水等の確認	1回/6ヶ月

＊1）内部点検は，抜水状態等で水路内部の異常の有無を確認するものであるが，簡易発電システムでは水路断面が小さいため人間が入ることが不可能となる。このため内部点検は，人が入れる個別箇所のみを原則とする。

表Ⅳ-4.9(5)　一般水力発電設備土木構造物の巡視・点検内容事例（臨時点検）

点検理由	一般水力発電設備	
	実施基準	内　　容
地震	設計震度の 1/3 以上あるいは気象庁震度階４以上の地震が発生した場合。	各工作物，周辺地山の点検, 測定および被害調査（漏水の有無と変化，変形，亀裂，崩壊，地すべり等）
洪水，大雨	3 年に 1 回程度発生する洪水流量または，3 年に 1 回程度発生する日雨量があった場合。	地震による点検に準ずる。

（３） 簡易発電システムにおける土木設備点検項目および頻度(案)

簡易発電システムによる水力発電所の土木設備に対する点検（巡視を含む）項目と頻度（案）を表Ⅳ-4.10 に整理した。

ただし，土木設備の点検の基本は，電気事業法に準じて “ 経済産業省で定める技術基準（土木施設に対しては主に「発電用水力設備に関する技術基準」）” に適合するよう，自己の責任によって必要な点検を実施することである。

従って，表Ⅳ-4.10 はあくまでも一案であり，実際には当該発電所の特性および重要度をもとに，合理的でかつ必要十分な検討の項目と頻度を決定する必要がある。

なお，参考として，簡易発電システムを採用した発電所の土木設備に対して，表Ⅳ-4.10 をたたき台にして点検の項目と頻度を検討する際, 注意すべき事項を以下に整理した。

①　電気工作物のうちの土木設備は，地形，地質，気象等の自然環境及び社会環境等により, 事業者及び工作物ごとに設備内容が異なる。したがって，土木設備の機能を合理的に維持し，保守運用業務の効率的な運営を図るためには，各土木設備の構造，重要度等を総合的に評価・検討する必要がある。

②対象施設によって点検項目及び頻度に差が出ることを考慮する必要がある。例えば，砂防ダムのように周辺環境が比較的厳しいものに対し，下水道施設利用などの場合は周辺環境が比較的やさしい。具体的には，寒冷地（降雪，凍結）や降雨・台風（洪水）の影響などが考えられる。

③自己責任が原則であるため，事業所内の単独運用（系統接続なし）のように他の機関への影響が全くない場合，最低限の点検項目・頻度とすることができる。

④自家用電気工作物の場合は巡視・点検等の保安業務の委託が認められているため，点検項目および頻度の設定に対し，保安業務の委託による合理化と合わせた検討が必要となる。

⑤電気設備に対する監視体制に付随して, 土木設備に対する監視を合理的に実施可能であれば, 土木設備に対する巡視項目および頻度の低減が可能となる。

⑥自動除塵機の設置など，保守の一部を自動的に実施する場合，その効果を考慮して巡視・点検の項目および頻度を検討する。

⑦発電所用ダム（維持流量発電）や下水道施設のように，同じ敷地内に施設があって，敷地内に技術者が駐在する場合は，巡視項目および頻度の低減が可能となる。

⑧農業用水利施設や発電所用ダム（維持流量発電）のように，使用水量が期別に変動する場合は，その変動を考慮して点検の頻度を検討する。

⑨上工水施設のように，年間を通じて使用水量が一定の場合，各工作物の運用状況もほぼ一定に保たれるため，点検項目および頻度の低減が可能となる。

表Ⅳ-4.10　簡易発電システムによる水力発電所の
土木設備に対する点検項目と頻度（案）

	点検頻度	対象設備	チェックポイント
巡視点検	1回/月 程度	取水口・沈砂池・水槽	・損傷等異常の有無。 ・取水口，沈砂池，水槽に土砂が流入していないか。
		スクリーン	・流木・枯れ葉が流入していないか。
		ゲート	・電源，ロック装置等の状況。
		除塵機	・塵芥等異常の有無。
		水圧管路	・損傷，変形，沈下等異常の有無。 ・水圧鉄管から漏水が生じていないか。
		発電所基礎	・変形，ひびわれ，湧水等の確認。
定期点検	＊1) 1回/年	取水口・沈砂池・水槽	・損傷，変形，ひびわれ，凍害，磨耗，洗掘等の確認。
		スクリーン	・損傷，変形，取付ボルトのゆるみ，塗膜の劣化等の確認。
		ゲート	・損傷，変形，磨耗，給油，塗膜の劣化等の確認。 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作等の異常有無。 ・各機器の指示計，スイッチ類表示ランプの状況。
		除塵機	・レーキの損傷，走行装置，コンベアの異常，腐食，塗膜劣化等の確認。
		水圧管路	・損傷，変形，沈下等の確認。 ・管胴及び支承部の損傷，変形，振動，漏水，塗膜劣化等の確認。
		発電所基礎	・変形，ひびわれ，湧水等の確認。
		その他	・周辺地山の崩壊，地滑り，湧水等の確認。 ・周辺構造物の変形，ひびわれ，湧水等の確認。
臨時点検	＊2) 地震，洪水，大雨等異常気象時の直後	導水路，水圧管路（露出管），発電所建屋	・異常な変位，ズレや亀裂が生じていないか。
		導水路周辺	・周辺斜面に斜面崩壊が生じていないか。
		その他	・日常点検の項目

＊1) 地質，地形，巡視及び点検実績等により，公衆等第三者に重大な影響を与えないと判断されるものについては，設備毎の特性を考慮して点検頻度を減少させることができる。この場合，点検頻度減少の限度は規程しない。

＊2) 地震の場合は気象庁震度階４以上の地震が発生した場合，洪水・大雨の場合は１年に１回程度発生する洪水流量または，１年に１回程度発生する日雨量があった場合，に実施する。

（4）適用施設別の点検に影響を与える要因の整理

前項で設定した簡易発電システムにおける土木設備の点検項目と頻度を考える際の参考として,点検に影響を与える要因について整理した。

例えば,農業用施設や砂防ダムのように, 土砂やゴミ･落葉などの流入が多い施設では取水施設に対する点検の割合が大きくなるが,上水道施設や下水道施設では土砂やゴミ･落葉などの影響が少なく, 取水施設に対する点検の頻度も異なってくるものと考えられる。

また, 取水地点が管理所から遠い場合と近い場合, 管理体制に余裕がある場合とそうでない場合を比べると, 遠い場合あるいは管理体制に余裕がない場合はできるだけ点検頻度を低減させることがコストダウンに繋がるが,近い場合あるいは管理体制に余裕がある場合は, 点検回数が多くなっても全体コストにそれ程大きくは影響しない。

対象施設毎に, 上記のような点検計画に影響を及ぼす要因について整理した（表Ⅳ-4.11）。

また, 取水施設の維持管理の合理化に寄与する除塵機について, 簡易発電システムへの採用を念頭に採用事例を整理した（表Ⅳ-4.12）。

表Ⅳ-4.11　点検に影響を与える要因の整理

施設状況		地形的要因	流量制御等	土砂，ゴミ・落葉等の状況	保守管理体制
農業施設	ダム	管理事務所から遠隔地の場合，管理に時間を要すことがある。	期別変動以外は取水量が安定しており，管理面では負担が小さい	土砂,ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担は小さい	管理団体(土地改良区など)の規模が大きと，内部の管理者で対応できる場合もある
	取水堰	同上	同上	土砂，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい	同上
	落差工・急流工	同上	同上	ゴミ・落葉が流入する可能性があり，管理面での負担がやや大きい	同上
砂防ダム		同上	河川流量が変動し,洪水時の対応も必要になるため，管理面での負担が大きい。	土砂，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい	地元役場などによる管理となり，新たに技術者や管理体制を確保しなければならない場合が多い
発電用ダム	ダム	同上	期別変動以外は取水量が安定しており，管理面では負担が小さい	土砂,ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担は小さい	現有の管理体制で対応可能な場合が多い
	堰	同上	同上	土砂，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい	同上
上工水施設	ダム	同上	取水量の日間変動が大きい場合，管理面での負担が大きくなる	土砂,ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担は小さい	管理団体(水道管理者)の規模が大きと，内部の管理者で対応できる場合もある
	堰	同上	同上	土砂，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい	同上
	落差工・急流工	同上	同上	ゴミ・落葉が流入する可能性があり，管理面での負担がやや大きい	同上
下水道施設	放水工・急流工	管理事務所から近く，管理に時間がかからない	同上	土砂,ゴミ・落葉ともほとんどなく，管理面での負担は小さい	管理団体(下水道管理者)の規模が大きと，内部の管理者で対応できる場合もある

表IV-4.12　除塵機の事例

名　称	無動力除塵機	小型除塵機 （ネット型ストレートフロー式）	小型除塵機 （ネット型ストレートフロー式）	レーキスキップ式	L 型スクリーン昇降式	パンタグラフ型	横スクリーン ワイパーレーキ型
概　要	水車の力でレーキの動力を得る無電力除塵機（無断力箇所に有効）。	ネットを回転させ、圧力水で付着した落ち葉等を洗い流す。	ネットを回転させ、圧力水で付着した落ち葉等を洗い流す。	モーターを正転、逆転させ、レーキを上限･下限で停止させるだけの制御で、あとはレーキ自身の重心移動で除塵作業を行う。	ウインチにより L 型スクリーンを上昇させ、人力にて除塵する。	ウインチにより主スクリーンを引き上げ、人力にて除塵する。	横取式の水路取水口用であって横方向のスクリーンとワイパー式のレーキにより、付着した塵芥を水路下流へ流下させる。
概算価格	約 500 万円	約 100 万円	約 300 万円 （水路幅 0.6m×高さ 1.5m 程度 （据付費別））	約 700 万円 （水路幅 2.5m×高さ 3.0m 程度）	約 200 万円～250 万円 手動式 （スクリーンバーピッチ 50 mm 水路断面 $2m^2$）	約 200 万円～250 万円 手動式 （スクリーンバーピッチ 50 mm 水路断面 $2m^2$）	約 100 万円～300 万円 手動式 （スクリーンバーピッチ 50 mm 水路断面 $1m^2$）
特記事項	水車ロスによるエネルギー減に配慮要す。	簡素な構造で安価。比較的小規模な鉄工所で製作。養魚場等で利用されている。	上水道の取水設備用に製作されたもので、ステンレス製。	ワイヤードラム直結のギヤードモーターのみでレーキを動作させている単純な構造であり、特別な減速機構や制御も省略でき、シンプルゆえに低価格である。	スクリーン下部に棚を設けているので、スクリーン上昇中でも、塵芥が水路に落下しない。2 基直列に設置して、交互に使用すれば除塵作業中でも塵芥を下流に流すことはない。	主スクリーンを引き上げた時、副スクリーンが同時に起立するので除陣作業中でも塵芥を下流に流さない。	横取式の水路取水口に設置する。塵芥は本水路下流に流すため塵芥の小運搬が不要。 レーキを往復または、レーキを往復または、回転させることで除塵する。
写真・構造図			（参考）		断面図 断面図	断面図 断面図	平面図 平面図

４．２．２　電気機械設備

一般に，電気機械設備の点検には巡視点検，定期点検，細密点検のように，経年計画を立案して実施する定期点検と事故時復旧や不具合補修等による臨時点検があるが，簡易発電システムにおいても，その基本的な点検区分，考え方は同じである。

【解説】

点検・保守計画はランニングコストに大きく影響することから，この合理化を図るためには，①経年的に実施する定期点検等の点検サイクルを延伸，②点検に伴う消耗部品等の交換数量削減などメンテナンスフリー化を図った機器設計も必要である。

最近では，機器の余寿命診断技術の開発があるが，簡易発電システムはこれから普及，促進を目指した新しい分野であることから，評価するに充分なデータが得られていないため，点検サイクルの延伸等を策定するのは難しい。なお，機器製作者からは，小型で簡素な構造，少ない交換部品とした標準品の水車発電機が商品化されている。

ここでは，簡易発電システムにおける電気機械設備で，現状，考え得る点検の合理化策と点検区分，標準的な点検項目及び内容について検討した。

（1）点検区分

その点検概要と簡易発電システムにおける考え方を表Ⅳ-4.13 に示す。簡易発電システムにおいては，①機器構成部品が少ないことから，点検サイクルの延伸でランニングコストを削減，②電力供給における信頼性は二次的なものとして位置付けていることから，事故時は停止させることを優先させ，事故未然防止のための極め細かい点検は省略するとした考え方によることにした。

表Ⅳ-4.13　点検概要と簡易発電システムにおける考え方

区分	一般水力発電設備	簡易発電システム
巡視点検	・　2週間に1回程度 ・　水車発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検及び計測値記録	・　1ヶ月に1回程度 ・　水車発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検及び計測値確認
定期点検	・　半年に1回程度 ・　水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水しない普通点検（1日程度）及び水車廻りを抜水する定期点検（2～3日）として実施	・　1年に1回程度 ・　水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水する定期点検（1日）として実施 ・　普通点検は対象外
細密点検	・　5年に1回程度 ・　水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）及び水車廻りを抜水して水車発電機の全部を分解する特別細密点検（1ヶ月程度）として実施	・　5年に1回程度 ・　水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）として実施 ・　特別細密点検は対象外

点検サイクルについては，関連する土木設備の点検や適用施設毎の関連設備の点検に同調させることが停止期間の短縮にも繋がって効果的であることから，簡易発電システムの運転条件も含め，地点特性を考慮した点検計画の立案が必要である。

（2） 検対象機器別点検周期

表Ⅳ-4.13 に示した点検周期の考え方にもとづき，表Ⅳ-4.14 に水車（フランシス，固定羽根プロペラ，クロスフロー），発電機及びインバータの各機器に対して，構成部品毎の点検項目，交換部品等の点検周期表を検討した。

簡易発電システムと比較する一般水力発電設備の点検周期は，機器製作者の推奨事項を参考に整理した。

点検周期に関しては，ランニングコストとの関わりが非常に強いため，極力実施しなければコストダウンに繋がるが，日頃のメンテナンスは機器寿命の延命化，停止しないことによる電力供給の信頼性等へ関係し，重大事故に至った場合の損害（機器更新，近隣への補償等）も考慮して計画立案する必要がある。

水力発電設備に関わる点検周期，点検項目等に関しては関係法令等の規制はなく，事業者の自己保安，自己責任に委ねられている。なお，事業者責任を明確にするため，電気事業法では出力 10kW 以上の水力発電設備に関し，保安規定の届出が義務付けられており，点検・保守計画はこの保安規定の中で網羅されることになる。

表Ⅳ-4.14　点検対象機器別点検周期表（１／１０）

【水車関係】フランシス水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
水車本体	軸　　受	軸受油量の確認	○					○		
		軸受温度の確認	○					○		
		油槽漏油の確認	○					○		
		各部の振動測定		○	○	○	○		○	○
		異常音の有無，聴音検査		○	○	○	○		○	○
		グリースまたは潤滑油の補給		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
	パッキン，シール類	主軸封水部漏水量確認	○					○		
		漏水量，給水量，給水圧測定				○	○			
		水漏れの有無確認		○	○	○	○		○	○
		パッキン交換					○			(○)
	ランナ	ランナ背圧確認	○							
		キャビテーションによる壊食の有無確認				○	○			○
		破損，摩耗の程度目視確認				○	○			○
		軸振れ，カップリング振れ測定				○	○			○
	ガイドベーン	上下のギャップ測定				○	○			○
		シャッター面のギャップ測定				○	○			○
		ガイドベーンリンク機構の発錆の有無確認				○	○			○
		動作状態確認				○	○			○
		開度検出器確認		○	○	○	○		○	○
		リミットスイッチ動作確認		○	○	○	○		○	○
		摩耗の程度目視確認				○	○			○
		無給油軸受の交換					○			(○)
		パッキンの交換					○			(○)
		操作機構各部給脂		○	○	○	○		○	○
	シートライナ	流水部の摩耗状況，ガイドベーンのかじり有無確認				○	○			
	空気調整弁，ドラフト	ドラフト部騒音，振動確認	○						○	○
		内面のキャビテーションによる壊食の有無確認				○	○			○
		目視、触診による動作確認		○	○	○	○		○	○
		ドラフト水位の調整			○	○	○		○	○
	ケーシング内部	流水面の摩耗，塗装の剥離の有無確認				○	○			○
		各部目視点検			○					○

（　　）：２周期毎（１０年）

表Ⅳ-4.14　点検対象機器別点検周期表（２／１０）

【水車関係】フランシス水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
水車本体	全　　般	各部締付ボルトの緩み確認		○	○	○	○		○	○
		直結精度測定					○			
		外面塗装確認					○			
		温度計，圧力計の校正				○	○			
		異常振動有無の確認	○					○		
		ピット内配管の漏水，漏油の有無確認				○	○			○
付属機器	調速装置	油圧サーボモータアクチェータ漏油，発錆の有無確認				○	○			
		油圧サーボモータアクチェータリンク関係の緩み確認				○	○			
		油圧サーボモータアクチェータストレーナの目詰まり点検				○	○			
		電動サーボモータ操作機構手動開閉異常有無確認			○	○	○		○	○
		電動サーボモータアクチェータボールネジへのグリース補給			○	○	○		○	○
		電動サーボモータアクチェータ減速機へのグリース補給				○	○		○	○
		電動サーボモータアクチェータ軸受交換					○			(○)
		調速機盤内点検清掃		○	○	○	○		○	○
		調速機制御部特性試験					○			(○)
		ガイドベーン開度計点検			○	○	○		○	○
	水車制御盤	漏油・漏水の確認	○							
		各部目視点検	○							
	入口弁	油圧入口弁サーボモータ漏油の確認	○							
		各部目視点検	○					○		
		手動，自動による動作確認				○	○			○
		減速機構の分解点検					○			(○)
		操作用モータの動作確認				○	○			○
		弁体パッキン，Ｖパッキン交換					○			(○)
		オイルレスブッシュ交換					○			(○)
	増速機	軸受異常音の有無聴音確認		○	○	○	○		○	○
		油漏れ，油量の確認		○	○	○	○		○	○
		潤滑油の確認，交換		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
		歯面のあたり確認			○	○	○		○	○

（　　）：２周期毎（１０年）

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（３／１０）

【水車関係】フランシス水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
付属機器	圧油装置	アンローダの動作状況確認		○	○	○	○			
		圧油タンク油面・圧力，集油槽油面，油温確認	○							
		圧油タンク，集油タンクの水滴，発錆及び漏油の有無確認				○	○			
		圧油タンク，集油タンクの油の汚れ，油面確認				○	○			
		圧油ポンプ運転状況確認	○							
		圧油ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		圧油ポンプ漏油確認				○	○			
		配管各部の漏油他目視点検	○							
		オイルストレーナ，サクションストレーナの漏油点検，目詰まり点検				○	○			
		圧油タンク油面調整（外部給気方式の場合）				○	○			
	給排水装置	給水ポンプ，排水ポンプの運転状況確認	○							
		配管の漏水の有無確認	○							
		冷却水ストレーナ漏水有無確認				○	○			
		冷却水ストレーナ動作状況確認				○	○			
		サンドセパレータ漏水，発錆，腐食有無確認				○	○			
		サンドセパレータ動作状況確認				○	○			
		自動弁漏水，漏油有無確認				○	○			
		自動弁動作状況確認				○	○			
		配管，弁類漏水，腐食，発錆有無確認				○	○			
		ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		ポンプへの異物混入，詰まり有無確認				○	○			
		ポンプ漏水状況確認				○	○			
		水中ポンプ絶縁抵抗測定				○	○			
	圧縮空気発生装置	空気タンク，ブレーキタンクの目視点検				○	○			
		空気圧縮機目視点検				○	○			

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（４／１０）

【水車関係】固定羽根プロペラ水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
水車本体	軸　　受	軸受油量の確認	○					○		
		軸受温度の確認	○					○		
		油槽漏油の確認	○					○		
		各部の振動測定		○	○	○	○		○	○
		異常音の有無，聴音検査		○	○	○	○		○	○
		グリースまたは潤滑油の補給		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
	パッキン，シール類	主軸封水部漏水量確認	○					○		
		漏水量，給水量，給水圧測定				○	○			
		水漏れの有無確認		○	○	○	○		○	○
		パッキン交換					○			(○)
	ランナ	ランナ背圧確認	○							
		キャビテーションによる壊食の有無確認				○	○			○
		ランナコーンの摩耗，壊食の有無確認				○	○			○
		破損，摩耗の程度目視確認				○	○			○
		軸振れ，カップリング振れ測定				○	○			○
		動作状態確認				○	○			○
		開度検出器確認		○	○	○	○			○
		リミットスイッチ動作確認		○	○	○	○			○
		無給油軸受の交換					○			(○)
		パッキンの交換					○			(○)
		操作機構各部給脂		○	○	○	○		○	○
		電動ランナベーン開閉異常有無確認				○	○		○	○
		電動ランナベーン操作機構へのグリース補給			○	○	○		○	○
		電動ランナベーン軸受交換					○			(○)
		ベルト交換			○	○	○		○	○
	ドラフト	ドラフト部騒音，振動確認	○						○	
		内面のキャビテーションによる壊食の有無確認				○	○			○
		目視，触診による動作確認		○	○	○	○		○	○
	ステーベーン，流水面	ステーベーン付根摩耗，割れの有無確認				○	○			○
		流水面の摩耗，塗装の剥離の有無確認				○	○			○
		各部目視点検			○					○

（　　）：２周期毎（１０年）

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（５／１０）

【水車関係】固定羽根プロペラ水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
水車本体	全　　般	カップリングブッシュ劣化の有無確認				○	○		○	○
		各部締付ボルトの緩み確認		○	○	○	○		○	○
		直結精度測定					○			
		外面塗装確認					○			
		温度計，圧力計の校正				○	○			
		異常振動有無の確認	○					○		
		ピット内配管の漏水，漏油の有無確認				○	○			○
付属機器	水車制御盤	漏油・漏水の確認	○							
		各部目視点検	○							
	入口弁	油圧入口弁サーボモータ漏油の確認	○							
		各部目視点検	○					○		
		手動，自動による動作確認				○	○			○
		減速機構の分解点検					○			(○)
		操作用モータの動作確認				○	○			○
		弁体パッキン，Ｖパッキン交換					○			(○)
		オイルレスブッシュ交換					○			(○)
	増速機	軸受異常音の有無聴音確認		○	○	○	○		○	○
		油漏れ，油量の確認		○	○	○	○		○	○
		潤滑油の確認，交換		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
		歯面のあたり確認			○	○	○		○	○
	圧油装置	アンローダの動作状況確認		○	○	○	○			
		圧油タンク油面・圧力，集油槽油面，油温確認	○							
		圧油タンク，集油タンクの水滴，発錆及び漏油の有無確認				○	○			
		圧油タンク，集油タンクの油の汚れ，油面確認				○	○			
		圧油ポンプ運転状況確認	○							
		圧油ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		圧油ポンプ漏油確認				○	○			
		配管各部の漏油他目視点検	○							
		オイルストレーナ，サクションストレーナの漏油点検，目詰まり点検				○	○			
		圧油タンク油面調整（外部給気方式の場合）				○	○			

（　　）：２周期毎（１０年）

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（６／１０）

【水車関係】固定羽根プロペラ水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
付属機器	給排水装置	給水ポンプ，排水ポンプの運転状況確認	○							
		配管の漏水の有無確認	○							
		冷却水ストレーナ漏水有無確認				○	○			
		冷却水ストレーナ動作状況確認				○	○			
		サンドセパレータ漏水，発錆，腐食有無確認				○	○			
		サンドセパレータ動作状況確認				○	○			
		自動弁漏水，漏油有無確認				○	○			
		自動弁動作状況確認				○	○			
		配管，弁類漏水，腐食，発錆有無確認				○	○			
		ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		ポンプへの異物混入，詰まり有無確認				○	○			
		ポンプ漏水状況確認				○	○			
		水中ポンプ絶縁抵抗測定				○	○			
	圧縮空気発生装置	空気タンク，ブレーキタンクの目視点検				○	○			
		空気圧縮機目視点検				○	○			

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（７／１０）

【水車関係】クロスフロー水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
水車本体	軸　　受	軸受油量の確認	○					○		
		軸受温度の確認	○					○		
		油槽漏油の確認	○					○		
		各部の振動測定		○	○	○	○		○	○
		異常音の有無，聴音検査		○	○	○	○		○	○
		グリースまたは潤滑油の補給		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
	ランナ	キャビテーションによる壊食の有無確認				○	○			○
		破損，摩耗の程度目視確認				○	○			○
		軸振れ，カップリング振れ測定				○	○			○
	ガイドベーン	上下のギャップ測定				○	○			○
		シャッター面のギャップ測定				○	○			○
		動作状態確認				○	○			○
		開度検出器確認		○	○	○	○		○	○
		リミットスイッチ動作確認		○	○	○	○		○	○
		摩耗の程度目視確認				○	○			○
		無給油軸受の交換					○			(○)
		パッキンの交換					○			(○)
		操作機構各部給脂		○	○	○	○		○	○
	ハウジング内部	各部目視点検	○					○		
	全　　般	カップリングブッシュ劣化の有無確認				○	○		○	○
		各部締付ボルトの緩み確認		○	○	○	○		○	○
		直結精度測定					○			
		外面塗装確認					○			
		温度計，圧力計の校正				○	○			
		異常振動有無の確認	○					○		
		ピット内配管の漏水，漏油の有無確認				○	○			○

（　　）：２周期毎（１０年）

表Ⅳ-4.14　点検対象機器別点検周期表（８／１０）

【水車関係】クロスフロー水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
付属機器	調速装置	油圧サーボモータアクチェータ漏油，発錆の有無確認				○	○			
		油圧サーボモータアクチェータリンク関係の緩み確認				○	○			
		油圧サーボモータアクチェータストレーナの目詰まり点検				○	○			
		電動サーボモータ操作機構手動開閉異常有無確認			○	○	○		○	○
		電動サーボモータアクチェータボールネジへのグリース補給			○	○	○		○	○
		電動サーボモータアクチェータ減速機へのグリース補給				○	○			○
		電動サーボモータアクチェータ軸受交換					○			(○)
		調速機盤内点検清掃		○	○	○	○		○	○
		調速機制御部特性試験					○			(○)
		ガイドベーン開度計点検			○	○	○		○	○
	水車制御盤	漏油・漏水の確認	○							
		各部目視点検	○							
	入口弁	油圧入口弁サーボモータ漏油の確認	○							
		各部目視点検	○					○		
		手動，自動による動作確認				○	○			○
		減速機構の分解点検					○			(○)
		操作用モータの動作確認				○	○			○
		弁体パッキン，Ｖパッキン交換					○			(○)
		オイルレスブッシュ交換					○			(○)
	増速機	軸受異常音の有無聴音確認		○	○	○	○		○	○
		油漏れ，油量の確認		○	○	○	○		○	○
		潤滑油の確認，交換		○	○	○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
		歯面のあたり確認			○	○	○		○	○
	圧油装置	アンローダの動作状況確認		○	○	○	○			
		圧油タンク油面・圧力，集油槽油面，油温確認	○							
		圧油タンク，集油タンクの水滴，発錆及び漏油の有無確認				○	○			
		圧油タンク，集油タンクの油の汚れ，油面確認				○	○			
		圧油ポンプ運転状況確認	○							
		圧油ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		圧油ポンプ漏油確認				○	○			
		配管各部の漏油他目視点検	○							
		オイルストレーナ，サクションストレーナの漏油点検，目詰まり点検				○	○			
		圧油タンク油面調整（外部給気方式の場合）				○	○			

（　　）：２周期毎（１０年）

表IV-4.14　点検対象機器別点検周期表（９／１０）

【水車関係】クロスフロー水車

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期							
			一般水力発電設備					簡易発電システム		
			2週間	6ヶ月	1年	5年	10年	1ヶ月	1年	5年
付属機器	給排水装置	給水ポンプ，排水ポンプの運転状況確認	○							
		配管の漏水の有無確認	○							
		冷却水ストレーナ漏水有無確認				○	○			
		冷却水ストレーナ動作状況確認				○	○			
		サンドセパレータ漏水，発錆，腐食有無確認				○	○			
		サンドセパレータ動作状況確認				○	○			
		自動弁漏水，漏油有無確認				○	○			
		自動弁動作状況確認				○	○			
		配管，弁類漏水，腐食，発錆有無確認				○	○			
		ポンプカップリングボルトの片あたり，摩耗の有無確認				○	○			
		ポンプへの異物混入，詰まり有無確認				○	○			
		ポンプ漏水状況確認				○	○			
		水中ポンプ絶縁抵抗測定				○	○			
	圧縮空気発生装置	空気タンク，ブレーキタンクの目視点検				○	○			
		空気圧縮機目視点検				○	○			

表Ⅳ-4.14　点検対象機器別点検周期表（１０／１０）

【発電機関係】

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期 一般水力発電設備 2週間	 6ヶ月	 1年	 5年	 10年	 簡易発電システム 1ヶ月	 1年	 5年
発電機	発電機本体	軸受油量の確認	○					○		
		軸受温度の確認	○					○		
		油槽漏油の確認	○					○		
		軸受温度，異常音の有無確認		○	○	○	○		○	○
		グリースまたは潤滑油の補給		○	○	○	○		○	○
		カップリングブッシュ劣化の有無確認				○	○		○	○
		ベアリング交換					○			(○)
		内部点検，各締付部点検			○	○	○		○	○
		絶縁抵抗測定			○	○	○		○	○
		回転整流器点検			○	○	○		○	○
		分解清掃，ワニス処理					○			(○)
	ＡＶＲ	全般及び取付器具の異常の有無確認		○	○	○	○		○	○
		絶縁抵抗測定			○	○	○		○	○
		各部特性試験					○			(○)
		動作特性試験（インディシャル応答，ＡＰＦＲ特性）					○			(○)

（　　）：２周期毎（１０年）

【インバータ関係】

点検対象機器	点検対象部品	点 検 項 目	点検周期 一般水力発電設備 2週間	 6ヶ月	 1年	 5年	 10年	 簡易発電システム 1ヶ月	 1年	 5年
インバータ	構造部品 電気部品	温度・湿度，油気・塵埃，音・振動に異常がないか確認	○	○	○	○	○	○	○	○
		盤外被，扉，吸気口の汚れを目視点検（12ヶ月点検では必要なら清掃）	○	○	○	○	○	○	○	○
		変圧器，リアクトル端子部，プリント板類の汚れの目視点検と清掃			○	○	○		○	○
		主回路，制御回路接続部の緩み点検と増し締め			○	○	○		○	○
		主回路部品の外観点検（膨らみ，変色，腐食，油漏れ）		○	○	○	○		○	○
		制御回路部品の外観点検（破損，変色）		○	○	○	○		○	○
		冷却ファンの正常回転の確認（３年を目処に交換する）	○	○	○	○	○	○	○	○
	性能測定 機能試験	絶縁抵抗測定（インバータユニットのメガテストは行わない）			○	○	○		○	○
		制御回路の動作確認，設定値の確認			○	○	○		○	○
		シーケンス試験（始動，停止，保護連動）			○	○	○		○	○
		波形観測（入出力電圧，電流波形の観測）			○	○	○		○	○

（3）モニタリング調査結果との比較

モニタリング調査結果は，平成 16 年度に整理したが，ここでは点検に関する特記事項について整理する。点検の内容や実施時期についての関係法令はないため，これらについては他所実績やメーカー推奨（取扱説明書など）にもとづき，事業者の判断により基準，要領が定められている。

なお，電気事業法第 42 条「保安規程」では，電気工作物の工事・維持及び運用に関する保安を確保するために保安規程を定め，届出が義務付けられている。一般用電気工作物（出力 10kW 未満，ダムを伴うものを除く）を除く事業用電気工作物を有する事業者は，この保安規程の中で点検基準を定めている。

モニタリング調査した対象地点 A～L の 11 地点のうち,保安規程を定めているのは 6 地点あった。このうち，2 地点から保安規程の受領を受けたが，これを見ると点検基準は「別表」として整理されており，巡視点検・定期点検・細密点検・臨時点検・測定に区分され，頻度及び点検箇所・部位で整理されている。

表Ⅳ-4.15 に一例を示す。この地点では，巡視点検を 1～2 回／月，定期点検を 1 回／年，細密点検を 1 回／10 年で立案している。この地点は比較的運転開始が最近であるため，定期点検及び細密点検は未実施である。

表IV-4.15　保安規程（点検基準）の一例

点検基準

項目／対象		日常巡視点検		定期巡視点検		細密点検		臨時点検		測定	
		頻度	点検箇所・部位	頻度	点検箇所・部位	頻度	点検箇所・部位	頻度	点検箇所・部位	頻度	試験項目
受電設備	受配電盤	1回／月	盤面配線の塵埃汚損・損傷・過熱・緩み・断線の有無 計器・表示札・表示灯・操作および切換スイッチの異常 その他必要事項	1回／年	停止して、各部の損傷・過熱・緩み・断線・接続部異常有無 端子配線符号 その他必要事項			不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年 1回／年	絶縁抵抗試験 接地抵抗試験
水力発電設備	取水設備	1回／月	スクリーンの塵芥堆砂等の有無及び状況 その他必要な事項	1回／年	停止して、各部の損傷・ひび割れ等の確認 その他必要な事項			不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）		
	水路	1回／月	損傷等異常の有無及び状況 塵芥堆砂等の有無及び状況 その他必要な事項	1回／年	停止して、各部の損傷・ひび割れ等の確認 その他必要な事項			不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／6年	水圧管路肉厚測定（鋼管で20年以上経過したもの） 当該定期点検等により設備保安上問題がないと判断されるものについては、測定頻度を1回／10年を限度に減少させることができる。
水力発電設備	水車	2回／月	音響・回転・過熱・異臭・給油状況に注意する その他必要事項	1回／年	停止して各部の汚損・緩み・損傷・伝達装置の異常有無 その他必要事項	1回／10年	分解点検	不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年	シーケンス試験
	発電機	2回／月	音響・回転・過熱・異臭・給油状況・カーボンブラシの状態に注意する。 その他必要事項	1回／年	停止して各部の汚損・緩み・損傷・通風部の異常有無 カーボンブラシの残量確認 その他必要事項	1回／10年	分解点検	不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年 1回／年 1回／年	絶縁抵抗試験 接地抵抗試験 シーケンス試験
	配電盤	2回／月	盤面配線の塵埃汚損・損傷・過熱・緩み・断線の有無 計器・表示札・表示灯の異常 操作・切換スイッチの異常 その他必要事項	1回／年	停止して、各部の損傷・過熱・緩み・断線・接続部異常有無 端子配線符号 その他必要事項			不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年 1回／年 1回／年 1回／年 1回／3年	絶縁抵抗試験 接地抵抗試験 シーケンス試験 保護継電器試験 計器校正
配電線路	電線・支持物	1回／月	必要により特定部位のものについて行う。（点検箇所・部位は定期巡視点検より抜粋）	1回／年	電柱・腕木・がいし・支線・支柱・保護網などの損傷・腐食 電線取付状態・弛度 電線高さ及び他の工作物との離隔 その他必要事項	1回／10年	必要により特定部位のものについて行う。（点検箇所・部位は定期巡視点検より抜粋）	不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年 1回／年	絶縁抵抗試験 接地抵抗試験
配電線路	ケーブル	1回／月	必要により特定部位のものについて行う。（点検箇所・部位は定期巡視点検より抜粋）	1回／年	ヘッド・接続部など接続部の過熱・損傷・腐食されつ損傷 布設部の無断掘削 建造・他物との離隔 その他必要事項	1回／10年	必要により特定部位のものについて行う。（点検箇所・部位は定期巡視点検より抜粋）	不定期	事故又は、天災地変などの場合必要に応じて行う。（必要箇所・部位）	1回／年	絶縁抵抗試験

注：工事期間中にあっては何れの設備も、日常巡視点検の頻度を1回／週とする。

保安規程を定めない一般用電気工作物を有する地点では，巡視点検を 1～2 回／月実施しているものの，定期点検及び細密点検については未計画であり，不具合補修等による不定期の臨時点検で対応していた。

従来から点検は，経年計画にもとづく TBM（Time Based Maintenance）が志向されていたが，最近の状態監視技術等の向上により，CBM（Condition Based Maintenance）に切替えて運用するケースも多い。モニタリング調査した地点では，初回点検結果から次回点検時期を延伸したり，定期点検結果から細密点検周期を延伸したりするケースが確認され，コストダウンが図られていた。

（4）点検区分の再整理

表Ⅳ-4.16 は，昨年度検討した点検概要と簡易発電システムにおける考え方を示したものである。モニタリング調査結果と比較すると，巡視点検及び定期点検は同等であるが，細密点検は 10 年に 1 回程度で計画している事例が多い。

表Ⅳ-4.16　点検概要と簡易発電システムにおける考え方

区分	一般水力発電設備	簡易発電システム
巡視点検	・2週間に1回程度 ・水車発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検及び計測値記録	・1ヶ月に1回程度 ・水車発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検及び計測値確認
定期点検	・半年に1回程度 ・水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水しない普通点検（1日程度）及び水車廻りを抜水する定期点検（2～3日）として実施	・1年に1回程度 ・水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水する定期点検（1日）として実施 ・普通点検は対象外
細密点検	・5年に1回程度 ・水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）として実施 ・10年に1回程度は，水車廻りを抜水して水車発電機の全部を分解する特別細密点検（1ヶ月程度）として実施	・5年に1回程度 ・水車発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）として実施 ・定期的な特別細密点検は，原則として実施しない

簡易発電システムでの考え方は，

① 一般に機器構成部品が少ないことから，点検サイクルの延伸でランニングコストの削減が可能

② 電力供給における信頼性は二次的なものとして位置付けていること

から，事故時は停止させることを優先させ，事故未然防止のための極め細かい点検は省略することとした。

モニタリング調査結果を反映すると，細密点検を 5 年から 10 年へ延伸することが考えられるが，水車・発電機の軸受交換時期（メーカー推奨：機器型式や種別による）が 5 年程度である機器が多いことを考慮すると，現時点では表Ⅳ-4.14 からの変更は考えないことにしたい。

点検サイクルについては,関連する土木設備の点検や適用施設毎の関連設備の点検に同調させることが停止期間の短縮にも繋がって効果的であることから,簡易発電システムの運転条件も含め，地点特性を考慮した点検計画の立案が必要である。

（5）点検費用の試算

点検費用は，点検対象及び点検する内容や回数，事故時復旧や不具合補修等による不定期の臨時点検の実施可否によって大きく異なるため，その試算は困難である。通常は保守計画を立案する中で，合せて費用の計上を行う。

表Ⅳ-4.2-17 は，前述した保安規程（点検基準）の一例を示したモニタリング調査地点において，定期点検及び細密点検について点検費用を試算した結果である。点検に同調して軽微な補修や用品交換も考慮したが，対象とする機器により異なる。

なお，巡視点検は事業者が実施するものとし，定期点検及び細密点検は外注することで試算した（作業監理は事業者が実施する）。

表Ⅳ-4.2-17　点検費用試算（例）

区分	内容	費用
定期点検	･水車 抜水による目視点検，手入れ ･発電機 目視点検，手入れ及び絶縁抵抗測定 ･制御･保護装置 目視点検，手入れ及び絶縁抵抗測定 ･その他 軽微な補修（必要に応じて）	･650 千円/回
細密点検	･水車 抜水による分解点検，手入れ 用品交換（パッキン類，ベアリング） ･発電機 分解点検，手入れ 用品交換（パッキン類，ベアリング） ･制御･保護装置 目視点検及び絶縁抵抗測定 ･その他 必要に応じて軽微な補修	･3,500 千円/回 ･定期点検を含むため，上記欄費用を含む
その他	･上記欄までの定期的な点検以外に，不定期の臨時点検を想定	･850 千円/年

※出力 100kW 程度
※横軸フランシス水車，重錘閉鎖式入口弁，横軸同期発電機
※汎用一体型制御･保護盤，単独運転防止装置
※発電機盤，所内･直流盤，高圧連系盤

第５章　関係法令・基準等

第５章　関係法令・基準等

本報告書で対象としている簡易発電システムも,水力発電設備の一形態であることから,水力発電設備に係る関係法令および基準類に準拠する必要がある。

【解説】

ここでは，簡易発電システムを設置するにあたって必要となる関係法令および規準を電気事業法および河川法（関連する技術基準等を含む）を中心に抽出・整理した。

また，電気事業法，河川法などに基づく諸手続きについて抽出・整理し，適用施設別に分類した。さらに，関係法令等と簡易発電システムとの係りについて整理した。

特に，簡易発電システムに直接係る法体制整備等で，平成 16 年 10 月の系統連系ガイドラインおよび平成 16 年 11 月の発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈については，改正内容および簡易発電システムとの係りについて解説した。

５．１　法令・基準および規程

簡易発電システムが準拠すべき関係法令の根幹となすものは，電気事業法と河川法である。

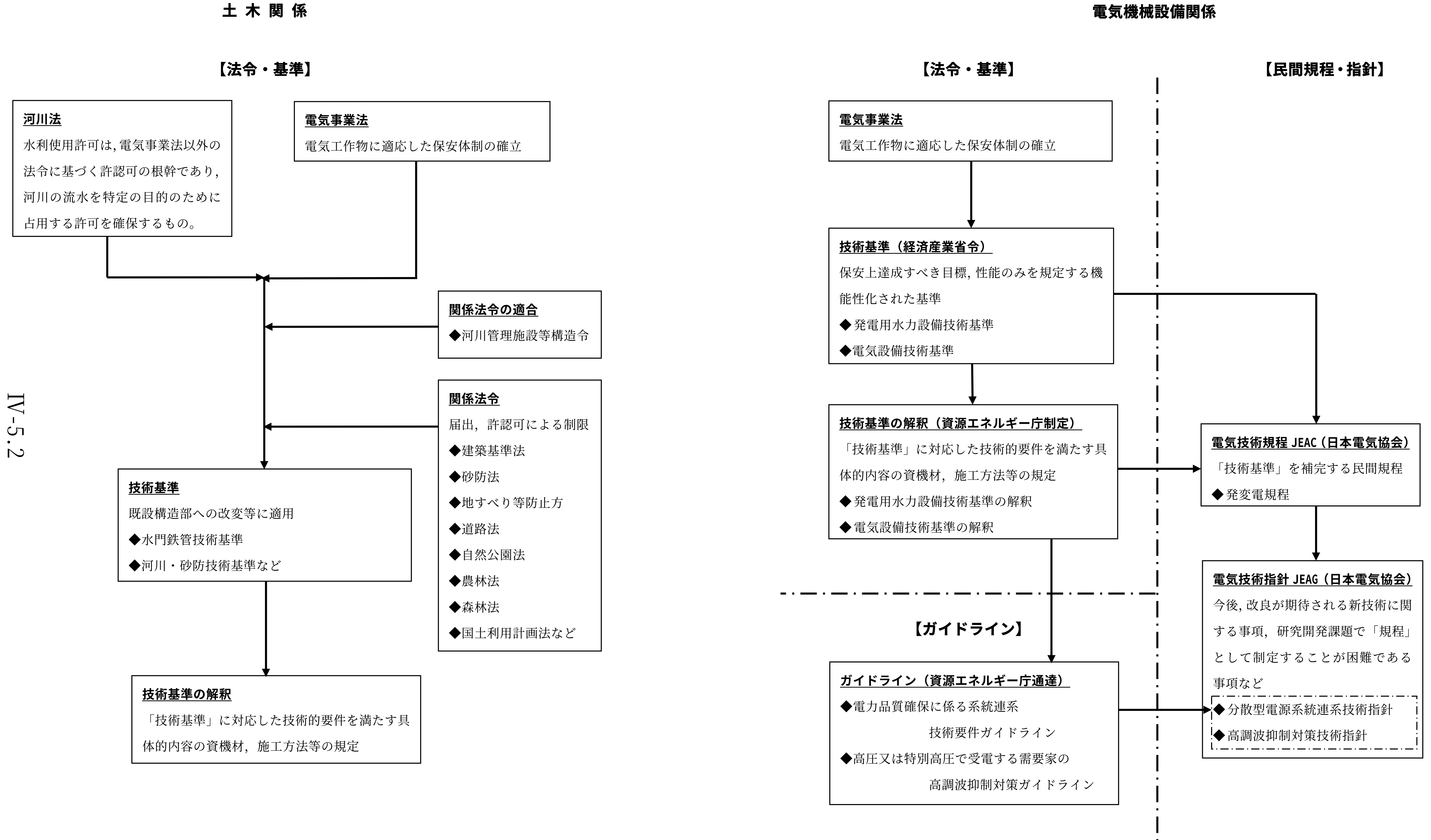
【解説】

河川法は，河川について洪水，高潮等による災害の発生が防止され，河川が適性に利用され，流水の正常な機能が維持され，および河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより，国土の保存と開発に寄与し，もって公共の安全を保持し，かつ，公共の福祉を増進することを目的としている。

電気事業法は，電気工作物の工事，維持および運用を規制することにより公共の安全を確保し，また，環境の保全を図ることを目的としたものである。

簡易発電システムにおける主要関連法・基準・規程・指針等の体系を図Ⅳ-5.1 に示す。

法体系的には，上位の電気事業法および河川法から関連技術基準，技術基準の解釈，ガイドラインの順に構成され，これと並行して建築基準法，砂防法などの関連法令や技術基準等を補完する民間規程（電気技術規程等）が関与するフローとなる。



図IV-5.1　簡易発電システムにおける主要関連法・基準・規程・指針等体系

５．１．１　関係法令

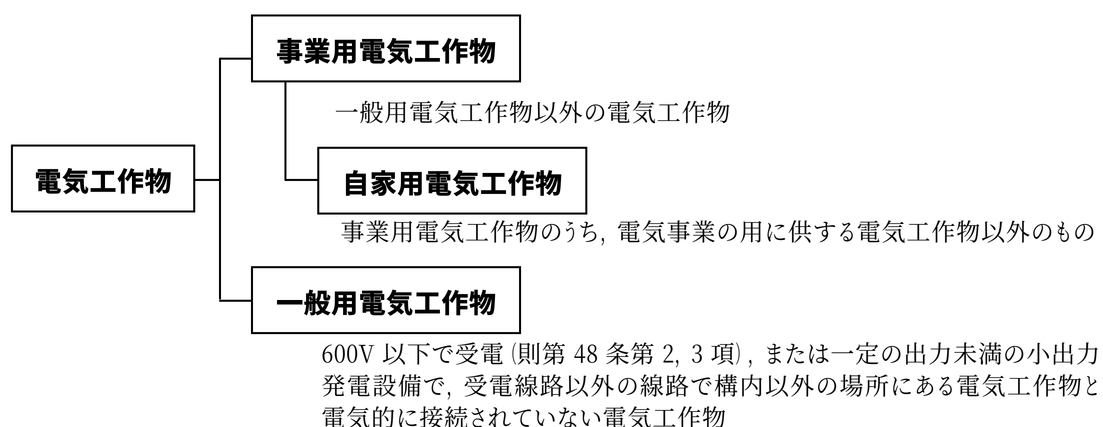
(1) 電気事業法

電気事業法は，電気工作物の工事，維持および運用を規制することにより公共の安全を確保し，また，環境の保全を図ることを目的としたものである。

【解説】

電気事業法では，電気工作物を一般用電気工作物と事業用電気工作物とに区分し，さらに，事業用電気工作物は電気事業用電気工作物と自家用電気工作物とに区分してそれぞれの電気工作物に適応した保安体制を確立することを求めている（第 38 条）。

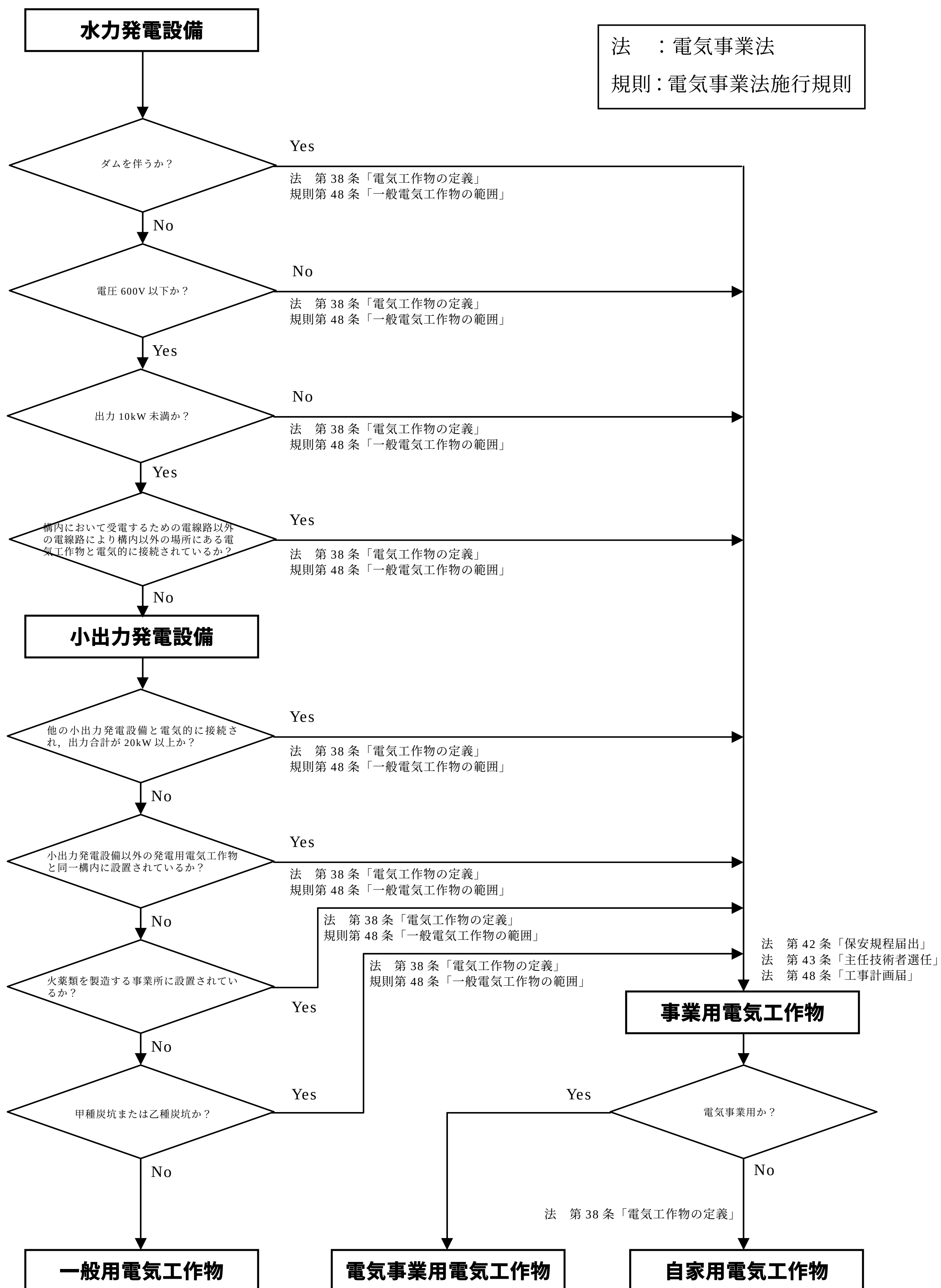
図Ⅳ-5.2 は，電気工作物の区分を模式的に示したものである。ここで，一般用電気工作物は，「600V 以下で受電（則第 48 条第 2，3 項），又は一定の出力未満の小出力発電設備で，受電線路以外の線路で構内以外の場所にある電気工作物と電気的に接続されていない電気工作物」と定められている。



図Ⅳ-5.2　電気事業法第 38 条「電気工作物」

ここで，「一定の出力未満の小出力発電設備」は，則第48条第4項の各号において，その規模が定められており，水力発電設備にあっては，「出力 10kW 未満のもの（ダムを伴うものを除く）」とある。なお，同一の構内に設置された他の設備と電気的に接続され，それらの設備出力の合計が 20kW 以上となる場合は除かれる。

電気事業法および電気事業法施行規則に基づく電気工作物の分類フローを図Ⅳ-5.3 に示す。なお，電気工作物の区分条件は，主に電気工作物の電圧，出力および接続箇所による。



図Ⅳ-5.3　電気工作物分類フロー

電気事業者または自家用電気工作物設置者に対しては，自主保安体制の整備を図るため，常に技術基準に定めるところに従い，電気工作物を正常な状態に維持しておかなければならない義務（法第 39 条），電気工作物の工事，維持および運用に関する保安の監督を行わせるため主任技術者を選任しなければならない義務（法第 43 条），電気工作物の工事，維持および運用に関する保安確保のため，保安規程を作成し届け出なければならない義務（法第 42 条），事業用電気工作物を設置または変更する際，工事計画を作成し届け出なければならない義務（法第 48 条）などを課している。

一般用電気工作物の保安に関しては，保安の最終責任は，その一般用電気工作物の所有者または占有者にあるが，合わせて一般用電気工作物に電気を供給する者（電力会社等）に，一般用電気工作物が技術基準に適合しているか否かを調査する義務（法第 57 条）等を課している。

表 5.1 は，一般用電気工作物（小出力発電設備）に関わる法的な適用範囲を示したものである。ここで,後述する「発電用水力設備技術基準」の改正により，これまで電気事業法第 56 条「技術基準適合命令」と関連する第 39 条第 2 項第一，二号で該当した「人体に危害を及ぼし，又は物件に損傷を与えないようにすること」，「他の電気的設備その他の物件の機能に電気的又は磁気的な障害を与えないようにすること」の具体的一例が示されることになった。

表Ⅳ-5.1　小出力発電設備に関わる規制

項　目	適用法令	事業用電気工作物	一般用電気工作物	
			小水力発電設備	受電設備
保安規程	法第 42 条	○	×	×
主任技術者	法第 43 条	○	×	×
工事計画	法第 48 条	△※1	×	×
使用前自主検査	法第 50 条の 2	△※2	×	×
技術基準適合維持	法第 39 条	○	○ 第三，四号を除く	○ 第三，四号を除く
技術基準適合命令	法第 40 条	○	×	×
	法第 56 条	×	○	○
電力会社の調査	法第 57 条	×	×	○

※1：受電電圧１万 V 以上のもの
※2：水力発電所にあっては、出力 3 万 kW 未満であってダム高さが 15m 未満のもの以外

(2) 河川法

河川法は，河川について洪水，高潮等による災害の発生が防止され，河川が適正に利用され，流水の正常な機能が維持され，及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより，国土の保存と開発に寄与し，もって公共の安全を保持し，かつ，公共の福祉を増進することを目的としている（法第１条)。

【解説】

法の他に，河川法施行令，河川法施行規則，河川管理施設等構造令，河川管理施設等構造令施行規則等で構成されている。

地方公共団体では,河川法施行令および河川法施行規則に基づき,「河川管理条例」,「河川法施行条例」,「河川法施行細則」,「河川管理規則」,「河川法等の施行に関する規則」等を制定している。

河川法における適用条項を表Ⅳ-5.2 に示す。河川の適正な利用をさまたげ，河川及びその付近の自然的及び社会的環境を損い,又は河川の管理に支障を及ぼす行為と認められるものについては許可されない。

表Ⅳ-5.2　河川法の適用条項

条　項	内　　容	備　考
法第 23 条	河川の流水の占用	河川区域内での許可事項
法第 24 条	区域内の土地の占用	〃
法第 25 条	土地（土砂を含む。）の採取	〃
法第 26 条	工作物の新築，改築又は除去	〃
法第 27 条	土地の掘さく，盛土，又は切土等土地の形状を変更する行為又は竹木の植栽培若しくは伐採	〃
法第 29 条	流水の方向，清潔，流量，幅員，深浅等について河川管理上支障を及ぼすおそれのある行為	〃
法第 55 条	土地の掘さく，盛土，又は切土等土地の形状を変更する行為 工作物の新築又は改築	河川保全区域内での許可事項

また，簡易発電システムを砂防ダムに適用する場合，砂防ダムは河川砂防技術基準（案）に準拠しているにもかかわらず，河川管理施設等構造令において河川構造物扱いとなる場合もある。

(3) その他関連法令

> 簡易発電システムの設置場所によって，土地の取得，改変，環境等に対する許可事項の関連法令がある。

【解説】

関係法令には，以下のものがある。これらは，設置場所により適用される関連法令が異なるため，設置場所に関する法令調査を実施して適用法令を確認する。

土地収用法　　自然公園法　　自然環境保全法

鳥獣及び狩猟に関する法律　　文化財保護法　　農地法

農業振興地域の整備に関する法律　　森林法　　国有林法　　水産資源法

国土利用計画法　　国有財産法　　建築基準法　　砂防法

地すべり等防止法　　採石法　　消防法　　道路法　　他

５．１．２　関係技術基準・規程

(1) **発電用水力設備技術基準**

> 電気事業法に基づく技術基準は，公共の安全確保および電気の安定供給の観点から電気工作物の設計，工事及び維持に関して遵守すべき基準として，電気工作物の保安を支えている。

【解説】

近年では，急速な技術進歩に即応した技術基準の改正や民間規格の積極的な活用により，電気工作物の保安確保は勿論，それに係る業務及び設備の一層の効率化が求められるようになった。また，国境を超えた経済の発展により，各国の規格についても国際的な整合(注)が求められるようになってきた。

このような状況を踏まえ，電気事業法の経済産業省令である発電用水力設備技術基準は平成９年３月に改正公布され，同年６月から施行された。

本改正により，それまで遵守すべき技術的要件を詳細に規定していた技術基準が保安上達成すべき目標，性能のみを規定する機能性化された基準となり，それに対応した技術的要件を満たす具体的内容の資機材，施工方法等の規定は，同年５月に資源エネルギー庁が制定した「発電用水力設備技術基準の解釈」に委ねられることとなった。

なお，「発電用水力設備技術基準の解釈」は，電気事業法に基づく保安確保上の行政処分を行なう場合の判断基準の具体的内容を示す「審査基準」として位置付けられている（後述する電気設備技術基準に係る「電気設備技術基準の解釈」も同様に「審査基準」として位置付けられている）。

発電用水力設備技術基準は，水力を原動力として電気を発生するために施設する電気工作物に対して適用され，ダム，水路，水車および地下発電所ならびに貯水池および調整池について，保安上達成すべき目標が記載されている。

（注）日本工業標準調査会（JISC）では，国際規格（国際標準化機構規格（ISO）および国際電気標準会議規格（IEC））に日本工業規格（JIS）を可能な限り整合させて制定するため，JIS の様式を国際様式に改め，国際規格をそのまま翻訳して JIS にする翻訳規格や要点のみ日本語で規定し，具体的事項は ISO, IEC そのものを原文のまま参考として採用する要約規格を制定している。

平成 16 年 11 月, 一般用電気工作物はその技術基準が明確に整備されていないことから,「発電用水力設備技術基準および解釈」で，当該設備の技術基準が新たに導入されることになった。

【解説】

発電用水力設備に関する技術基準を定める省令では, 電気工作物の定義が「一般用電気工作物および事業用電気工作物」と明確にされ, 一般用電気工作物における防護施設，水車保護装置，余水処理についての規定が追加された。

また, 発電用水力設備の技術基準の解釈では，省令の改正を受けて，水車保護装置と余水処理についての具体的一例が示されたが, その内容は現行の事業用電気工作物の規定を読替運用する形で追加された。

以下に改正要点を列記する。下線部分が改正箇所である。

□省令第 1 条第 2 項（総則：適用範囲），追加

電気工作物=一般用電気工作物+事業用電気工作物

□省令第 3 条第 2,3 項（総則：防護施設等），追加

人が転落して危害を受ける恐れのある箇所，人が接触して危害を受ける恐れのある箇所（土地の状況等により公衆が容易に立入る恐れがない箇所は除外）

□省令第 26 条第 2 項（水路：一般事項），追加

全負荷を遮断した場合に安全に余水を処理できるよう施設（当該設備周辺の地形その他状況で侵害する恐れがない場所は除外）

□省令第 32 条第 2 項（水路：水圧管路），追加

支台の支承部は管胴本体の伸縮に際し安全で円滑に移動する構造（第 1 項第六号ロ）を除外

□省令第 34 条第 4 項（水車及び地下発電所：水車及び揚水用のポンプ），追加

異常が発生した場合に水車を自動的かつ確実に停止する装置を施設（発電機遮断+無拘束設計+下流域への影響なしであれば除外）

□解釈第 21 条第 2 項（余水処理），読替運用追加

余水を安全に排除又は当該設備周辺の地形その他状況で侵害せず安全に余水を処理（余水吐，余水を安全に処理する容量を有する水路の設置ではない）

□解釈第 40 条第 3 項（水車の保護装置），読替運用追加

異常が発生した場合とは「流木，じんかい，土砂等の混入により著しく損傷を受ける恐れがある場合」又は「電動式制御装置の電源電圧低下」（回転速度上昇，油圧低下，スラスト軸受温度上昇，発電機内部故障ではない）

(2) **電気設備技術基準**

電気設備技術基準は，発電用水力設備技術基準と同様に電気事業法の経済産業省令であり，平成 9 年 3 月に改正公布され，同年 6 月から施行された。

【解説】

本改正により，それまで遵守すべき技術的要件を詳細に規定していた技術基準が保安上達成すべき目標，性能のみを規定する機能性化された基準となり，それに対応した技術的要件を満たす具体的内容の資機材，施工方法等の規定は，同年 5 月に資源エネルギー庁が制定した「電気設備技術基準の解釈」に委ねられることとなった。

電気設備技術基準には，電気設備に係る保安原則（感電・火災などの防止，異常の予防および保護対策，電気的・磁気的障害の防止，供給支障の防止，公害等の防止），電気の供給のための電気設備の施設および電気使用場所の施設について記載されている。平成 16 年 10 月には，後述する「系統連系ガイドライン」の技術要件が「電気設備技術基準の解釈」へ移行され，系統連系ガイドラインは電力品質確保の環境整備として，「電力品質確保に関わる系統連系技術要件ガイドライン」が制定された。

(3) **水門鉄管技術基準**

水門鉄管技術基準の水圧鉄管・鉄鋼構造物編は，水力発電設備の安全性の確保および経済性の向上を図るため，すべての水力発電所の水圧鉄管についての設計，施工，据付，管理について規定している。

【解説】

管材については，ロールまたはプレス加工による鉄管の他，中小水力開発のコスト低減の趣旨から JIS 規格管およびダクタイル鋳鉄管についても追加されている。

水門鉄管技術基準では，樹脂材として FRP 管の規定があり，簡易発電システムではこれに準じた格好で「一般市販管」として，塩ビ管，ポリエチレン管並びにポリエチレンリブ管の技術基準化を検討した。

(4) その他関連技術規程類

a 系統連系ガイドライン

本ガイドラインは，分散型電源の導入促進に資するために，一般電気事業者及び卸電気事業者以外の者が設置する発電設備（これらを総称して分散型電源として扱っている）を系統に連系する場合の電力品質確保を示すもので，経済産業省資源エネルギー庁より通達されているものである。

【解説】

ここでいう発電設備とは，（イ）ディーゼルエンジン，ガスエンジン，ガスタービンなどの交流発電設備（電気事業に参入する事業者等の大規模発電設備，コジェネレーション設備，小水力発電設備，常用化して系統連系する非常用発電設備などを含む）および（ロ）太陽光発電，燃料電池などの直流発電設備等であって逆変換装置を用いた発電設備（風力発電，マイクロガスタービンなどで，発電設備の交流出力を直流に変換し，逆変換装置を介して系統に連系する場合も含む）をいう。

なお，不特定多数の需要家に電力を供給する配電系統における電圧の運用・管理は，電力が変電所から需要家に一方向に流れることを前提として，重・軽負荷時の電圧降下を勘案しつつ，変電所端電圧調整，柱上変圧器電圧タップ整定および線路途中への自動電圧調整器の設置などを行ない，系統各部の低圧需要家の電圧を適正値（101±6V, 202±20V）に維持している（電事法第 26 条, 電事法施行規則第 44 条）。したがって，発電設備を系統に連系する場合にも系統電圧を上記の適正範囲内に維持する必要があるため，系統連系に伴い生じる電圧変動により適正電圧維持が困難な場合には，発電設備設置者側で適切な対策を施すとともに，これにより対策できない場合は系統側の増強等を行なう必要がある。

系統連系ガイドラインは，平成 16 年 10 月の法体制整備まで技術要件を含めて規定されていたが，電力品質確保の環境整備として，新たに「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」として改正された。

技術要件については，技術的指標として「電気設備の技術基準の解釈について」に移行され，今回の法体制整備では，保安の観点から扱うべき事項の明確化と法令準則への反映，電気事業制度改革に伴う分散型電源導入の環境整備を鑑みている。

表Ⅳ-5.3 に系統連系技術要件の概要を示す。簡易発電システムにあっては，その規模（出力 500kW 未満）から，コストダウンが主要目標である。したがって，従来仕様では高圧連系が一般的であったが，コストダウンを考慮した場合，高圧連系設備を省略した低圧連系が主になると考えられる。このため，表Ⅳ-5.3 では特別高圧連系は省略し，高圧連系及び低圧連系の 2 つに限って抜粋した。

系統連系の基本的な考え方は，①供給信頼度（停電等）及び電力品質（電圧，周波数，力率等）の面で他の需要家に悪影響を及ぼさないこと，②公衆及び作業者の安全確保並びに電力供給設備または他の需要家設備に悪影響を及ぼさないことであ

り, 簡易発電システムにあっても, 系統連系する場合は相応の信頼性が求められる。
これにより，簡易発電システムを系統に連系させる場合は，電技解釈と系統連系ガイドラインの両方で規定された要件を満足する必要がある。
表Ⅳ-5.4 は，平成 16 年 10 月の法体制整備を受けて，その規定内容を項目毎に電気設備技術基準の解釈と系統連系ガイドラインで区分けして整理したものである。技術要件は電気設備技術基準の解釈，電力品質は系統連系ガイドラインによるが，項目によっては両方で規定されているものもある。

表Ⅳ-5.3　系統連系技術要件の概要

連系区分		高圧連系				低圧連系			
電　圧		AC600V，DC750V を超え 7kV 以下				AC600V，DC750V 以下			
容　量		2,000kW 未満				50kW 未満			
機器区分		交流発電設備		直流発電設備+INV		交流発電設備		直流発電設備+INV	
		同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式	同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式
技術要件	逆潮流有無	有り／無し				無し (発電出力≦構内負荷，及び単独運転が生じないことが条件)		有り／無し	
	発電電圧異常時の保護	OVR+UVR				OVR+UVR			
	系統短絡保護	DSR	UVR(発電電圧異常検出用と兼用可)			DSR (検出できる時は OCR または UVR でも可)	UVR(発電電圧異常検出用と兼用可)		
	系統地絡保護	OVGR (OVGR を省略できる技術要件①～②が追加)				単独運転検出機能(受動)等 (保護パターン) ①高･低圧混触(地絡)→②高圧 CB トリップ(OVGR 等)→③発電機単独運転→④単独運転を高速に検出して発電機を解列 (交流発電機の場合，上記条件を満足できるのは逆潮流がないこと，受動方式の採用が条件)			

<table>
<tr><td rowspan="8"></td><td>単独運転防止</td><td colspan="2">逆潮流有り
OFR+UFR+転送遮断装置
(または，単独運転検出機能を有する装置)
逆潮流無し
UFR+RPR
(逆潮流有りの保護装置でも可)</td><td colspan="2">逆潮流有り
OFR+UFR+単独運転検出機能(受動+能動)
逆潮流無し
UFR+RPR
(逆潮流有りの保護装置でも可)
(構内で低圧連系する発電設備で，出力容量≦受電容量の場合は，RPRを省略可)</td><td colspan="2">UFR+UPR+RPR
(RPR は系統地絡保護用単独運転検出機能(受動)で代用可)
(UPRは発電出力制御により，発電出力≦構内負荷を常に確保できる場合はRPRで代用可)</td><td colspan="2">逆潮流有り
OFR+UFR+単独運転検出機能(受動+能動)
逆潮流無し
UFR+RPR+逆充電検出機能(UVR+UPR)
(逆潮流有りの保護装置でも可)</td></tr>
<tr><td>自動負荷制限・発電抑制</td><td colspan="4">発電設備の脱落時に電線路が過負荷となる恐れがある時，負荷制限を行う</td><td colspan="4">不要</td></tr>
<tr><td>線路無電圧確認装置</td><td colspan="2">逆潮流有り
要(※不要)
逆潮流無し
要(連系保護装置の二重化により省略可)
(誘導発電機は要，コンデンサによる自己励磁現象のため)</td><td colspan="2">逆潮流有り
不要
逆潮流無し
要(逆潮流有りの連系保護装置を設置する場合不要)</td><td colspan="4">不要</td></tr>
<tr><td>常時電圧変動対策</td><td colspan="4">力率による制限</td><td colspan="2">力率による制限</td><td colspan="2">力率制限+電圧上昇抑制機能</td></tr>
<tr><td>瞬時電圧変動対策</td><td>自動同期検定装置</td><td>(限流リアクトル等)</td><td>自動的に同期が取れる機能</td><td>(限流リアクトル等)</td><td>自動同期検定装置，制動巻線</td><td>(限流リアクトル等)
フリッカ対策</td><td>自動的に同期が取れる機能</td><td>(限流リアクトル等)</td></tr>
<tr><td>短絡容量対策</td><td colspan="2">要</td><td colspan="2">不要(大容量のものは要)</td><td colspan="2">要(限流リアクトル)</td><td colspan="2">不要</td></tr>
<tr><td>その他</td><td colspan="4">※二方式以上の単独運転検出機能を有する装置設置の場合</td><td colspan="4">ー</td></tr>
</table>

OVR:過電圧継電器，UVR:不足電圧継電器，DSR:短絡方向継電器，OVGR:地絡過電圧継電器，OCR:過電流継電器，OFR:周波数上昇継電器，UFR:周波数低下継電器，RPR:逆電力継電器

表IV-5.4　電力系統連系技術要件の比較区分表

「電気設備の技術基準の解釈」と「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」との比較表

項目		低圧連系		高圧連系		摘要
		電技解釈	ガイドライン	電技解釈	ガイドライン	
旧系統連系技術要件ガイドライン(解説)項目	電気方式		○		○	連系する系統の電気方式と同一
	力率		○		○	原則85%以上、系統から見て進み力率
	保護協調の目的	○ 第276条、別表第22 (系統連系用保護装置の施設)		○ 第281条、別表第23 (系統連系用保護装置の施設)		
	保護装置の設置					
	保護継電器の設置場所					
	解列箇所					
	保護継電器の設置場所設置相数					
	自動負荷制限			○ 第277条 (自動負荷制限の実施)	○	
	線路無電圧確認装置の設置			○ 第278条 (再閉路時の事故防止)		
	逆潮流の制限(配電用変電所)			○ 第279条 (逆潮流の制限)	○	
	変圧器	○ 第273条 (直流流出防止変圧器の施設)		○ 第273条 (直流流出防止変圧器の施設)		
	電圧変動		○ (1)常時電圧変動対策 (2)瞬時電圧変動対策		○ (1)常時電圧変動対策 (2)瞬時電圧変動対策	常時電圧の10%以内
	短絡容量	○ 第275条 (限流リアクトル等の設置)		○ 第280条 (限流リアクトル等の設置)		
	不要解列の防止		○		○	
	連絡体制			○ 第153条第1項第九号 (電力保安通信用電話設備)	○	
上記以外	過電流遮断器の種別	○ 第274条		○ 第274条		
	高圧配電線との連系における例外			○ 第282条		発電設備等の出力が極めて小さいときは、 低圧配電線との連系に準ずることができる
	連系区分(電力容量)		○ 50kW未満		○ 2,000kW未満	原則
	連系区分(逆潮流)	○ 逆変換装置がなく、逆潮流ありでの 連系不可(別表第22)	○ 同期発電機、誘導発電機の連系 (逆変換装置を介する連系を除く) は、原則として逆潮流なし			ガイドラインに比べ、電技解釈は厳しい表現

(適用範囲)
電技解釈：一般電気事業者及び卸電気事業者以外の者が一般電気事業者が運用する系統に発電設備等を連系する場合
ガイドライン：一般電気事業者がその供給区域内で設置する発電設備等以外の発電設備等を系統と連系する場合

電気設備技術基準の解釈と系統連系ガイドラインの両方で規定されている項目のうち，低圧連系においては，連系区分（逆潮流）がある。電気設備技術基準の解釈では別表の中で，「逆変換装置がなく，逆潮流ありでの連系不可」とあり，系統連系ガイドラインでは「同期発電機，誘導発電機の連系（逆変換装置を介する連系を除く）は，原則として逆潮流なし」とある。電気設備技術基準の解釈は設備の一例を具体的に示すものであるが，「不可」では代替させる方法がないため，低圧連系で逆潮流ありの場合は逆変換装置が必要となる。

これに対し，系統連系ガイドラインは，「原則として逆潮流なし」とあるため，同期発電機又は誘導発電機であって，出力 50kW 未満であれば，逆潮流なしの系統連系が実現できるようにも読める。

高圧連系では自動負荷制限，逆潮流の制限（配電用変電所），連絡体制が両方で規定されている。また，電気設備技術基準の解釈では，高圧配電線との連系における例外として，「発電設備等の出力が極めて小さいときは，低圧配電線との連系に準ずることができる」とし，電気設備技術基準の解釈で規定する系統連系用保護装置の施設，限流リアクトル等の設置が低圧連系に準ずるほか，自動負荷制限，線路無電圧確認装置の設置，逆潮流の制限（配電用変電所）が適用対象外となる。

なお，「出力が極めて小さいとき」の取扱いについては，解説に委ねるとし，現時点では明確にされていない（工場等の受電契約電力に対して，概ね 5%程度で運用しているとの報告がある）。

単独運転防止は，電気設備技術基準の解釈および系統連系ガイドライン，また，その内容をより具体的に示した JEAG9701-2001「分散型電源系統連系技術指針」の中で，公衆保安の確保や二次的な被害拡大防止を目的にしている。

【解説】

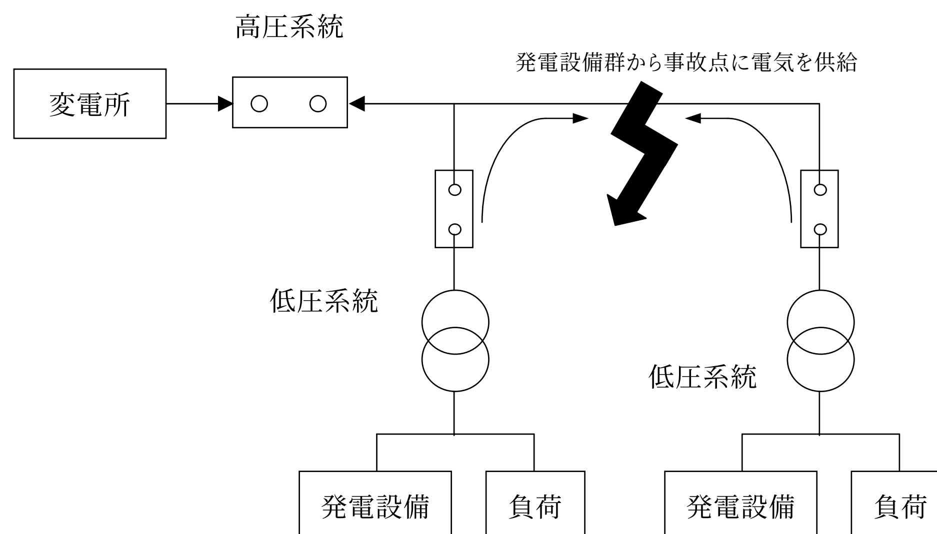
単独運転になった場合は一般公衆の感電，点検作業員の感電，非同期連系により機器破損等の安全に対して大きな影響を与える恐れがあるとともに，事故点の被害拡大や事故復旧の遅れ等により供給支障の拡大を招く可能性があることから，系統事故や作業時における単独運転は確実に防止することが原則とされている。

単独運転とは，発電設備が連系する系統やその上位系統において，事故が発生して系統の引出口遮断器が開放された場合，若しくは作業時または火災等の緊急時に線路途中に設置されている開閉装置等が開放した場合などに，発電設備が系統から解列されず，商用電源から分離された部分系統内で運転を継続すると，本来，無電圧であるべき範囲が充電されることになり，発電設備の運転によって生ずる電力供給のみだけで当該系統に電気が通じている状態である。

JEAG 指針では，単独運転に至った場合に保護継電装置等を用いてこれを直接または間接的に検出し，当該発電設備を当該系統から解列できるような単独運転防止対

策をとることとしている。

図Ⅳ-5.4は事故点に電気が供給され続ける例を示したものである。単独運転検出機能がないと，低圧側では高圧側の事故が検出できない場合がある。このため，高圧系統で地絡事故等が発生した場合，低圧側に連系している発電設備では直接地絡事故を検出できないことから，単独運転が継続され，事故点に電気が供給され続ける。



図Ⅳ-5.4　事故点に電気が供給され続ける例

単独運転を認めるケースは，特別高圧電線路で連系している発電設備の出力容量が大規模であり，発電設備を一定の供給力と見込んでいることや，単独運転になっても電圧，周波数が変動せず，適正な電圧，周波数が維持できる場合としている。

JEAG指針にもとづけば，簡易発電システムにおいて，単独運転検出装置は必須であり，系統連系する一般電気事業者または卸電気事業者からも設置の義務付けは強く要望されると考えられる。なお，逆潮流のない連系の場合には，逆電力継電器等による逆潮流検出で単独運転検出が可能であるが，逆潮流がある連系の場合は連系遮断器開放の情報による転送遮断装置を設置するか，単独運転検出機能を有する装置の設置となる。

この単独運転検出機能を有する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多種の方式が実用化されている傾向にあり，発電機種別による機器仕様，逆潮流有無，運転状況等を考慮した装置選択が必要である。

b　電気技術規程・電気技術指針（民間規程・指針）

技術基準は，電気事業法に基づき，電気工作物の保安確保のために必要な最小限度の規制を目的とする維持基準である。このため，建設時の細部の材料，設計，施工，検査などの技術的な事項について法令を補完するとともに新技術の開発及び社会情勢の変化に遅滞なく追従し得るような民間規程があれば，法定の技術基準と表裏一体をなして保安確保に万全を期すことが可能となる。

【解説】

「電気技術規程（発変電規程等）」は，法定の技術基準を補完するものとして維持規程，工事規程，検査規程などに細分され，運用にあたってのサービスレベル等を含めた内容となっている。

一方，「電気技術指針（分散型電源系統連系技術指針等）」は，今後，改良が期待される新技術に関することや保安上「規程」として制定することが必要と考えられるが，研究開発課題である事項等一律に定めることが困難，または不適当な数多くの事項がある場合の技術的内容を取り扱っている。

例えば以下のような場合が挙げられる。

① 新技術に関する事項で「規程」とするためには，諸外国の事例を含めて実績，実例が少ない場合

② 保安上必要な事項であるが，その方法，対策などについて学説，方法論が必ずしも確立していないため，広く一般に適用するものとして「規定」とすることが困難な場合

③ 未解決，未確定な研究開発課題が含まれる事項がある場合

④ 社会情勢が急激に変化し，「規程」とすることが必ずしも適当でない場合

「電気技術指針」は，原則的に「電気技術規程」に準じて遵守されることが望ましいが，以下の事項に留意して運用することが必要である。

① 実運用にあたって，技術の進歩を阻害することのないように解釈すべきであること

② 内容を十分理解して，設計，施工などに際して誤りのないようにすること

③ この指針に記載されていない事項，方法などであっても，それが保安上適切なものである場合は採用することができること

なお，電気技術規程・指針の中には法令規制を受けない（技術基準に規定されていない）自主規定が含まれている。この自主規定は，委員会から国の基準等（技術基準の解釈等）へ引用要請する場合の他は，これを根拠に国の基準等に引用されることはない。

《参考》電気技術規程：JEAC（Japan Electric Association Code）
電気技術指針：JEAG（Japan Electric Association Guide）

５．１．３　機器簡素化・合理化と法令・基準等

簡易発電システムにおいて，電気機械設備の主要機器である水車，発電機及び制御・保護装置は全体に占める価格比率が大きいことから，機器仕様を簡素化または合理化を図ることによって，単純にイニシャルコストを下げることが考えられる。

【解説】

機器の簡素化・合理化にあたっては，機能維持を求めるのと同様に，保安の観点から関係する法令・基準等（発電用水力設備技術基準，電気設備技術基準，系統連系ガイドライン等）の遵守および事業者としての自己責任を逸脱しないように注意を払う必要がある。

ここでは，機器簡素化・合理化が期待でき，既にモニタリング調査結果から実用化されている入口弁，調速装置，保護装置の省略・簡素化を例に，関係する法令・基準との係りについて整理した。

(1) **入口弁**

入口弁は水路設備と密接に関係し，関係法令である「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈」により，その省略及び簡素化について規定されていることから，単純にイニシャルコストダウンの目的だけで省略することはできない。

【解説】

関係法令からは,水路または水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が必要であり，取水設備にゲート等の止水設備を設ける場合は入口弁が省略できる。

止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンス方法にも影響することから，土木設備と水車設備の協調が取れた計画設計の中で，コストダウンを図る必要がある。

入口弁を設置する場合，通常の入口弁は水車起動・停止時に電動サーボモータまたは圧油装置を用いた自動開閉装置を有しているものが一般的であるが,簡易発電システムでは水車起動・停止頻度が少ないと想定されるため，自動開閉装置を手動開閉,非常時は重錘により閉とする簡素化入口弁の採用がコストダウンに資する。

入口弁等の省略に抵触する基準，解釈は省令第 34 条及び解釈第 38 条である。これは「水車及び揚水用のポンプ」を対象としており，その強度及び保護，付帯設備（圧油装置，圧縮空気装置）についての技術的要件を規定したものであり，この中でも省令第 34 条第 1 項第五号，解釈第 38 条の全てが該当する。

表Ⅳ-5.5 は，これら条文を水車に限って抜粋したものである。

表IV-5.5　入口弁等省略に関わる省令，解釈

発電用水力設備に関する技術基準を定める省令
(第 34 条)　水車及び揚水用のポンプ（以下，水車に限定して抜粋） 水車は次の各号により施設しなければならない。 五　水の流入を迅速に遮断する施設を水車に設けること。ただし，当該施設を水路に設ける場合又は水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与えるおそれのない場合はこの限りでない。
発電用水力設備の技術基準の解釈について
(第 38 条)　水の流入又は流出を遮断する施設（以下，水車に限定して抜粋） 省令第 34 条第 1 項第五項に規定する，水の流入を迅速に遮断する施設とは，次の各号に掲げるもののいずれかである。 一　水車に設ける場合にあっては，非常時に閉鎖する機能を有するガイドベーン又はニードル若しくは流水遮断能力を有する入口弁 二　水路に設ける場合にあっては，非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンク又はサージタンクの制水門 2 水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合の放流及びデフレクタ放流を行う場合は，水路又は水車のいずれかに放流を止める施設を有すること。

【省令第 34 条】

水車には「水の流入を迅速に遮断する施設」を義務付けているが，①当該施設を水路に設ける場合，②水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流域への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れのない場合のいずれかに該当すれば，「水の流入を迅速に遮断する施設」は必要ないとしている。

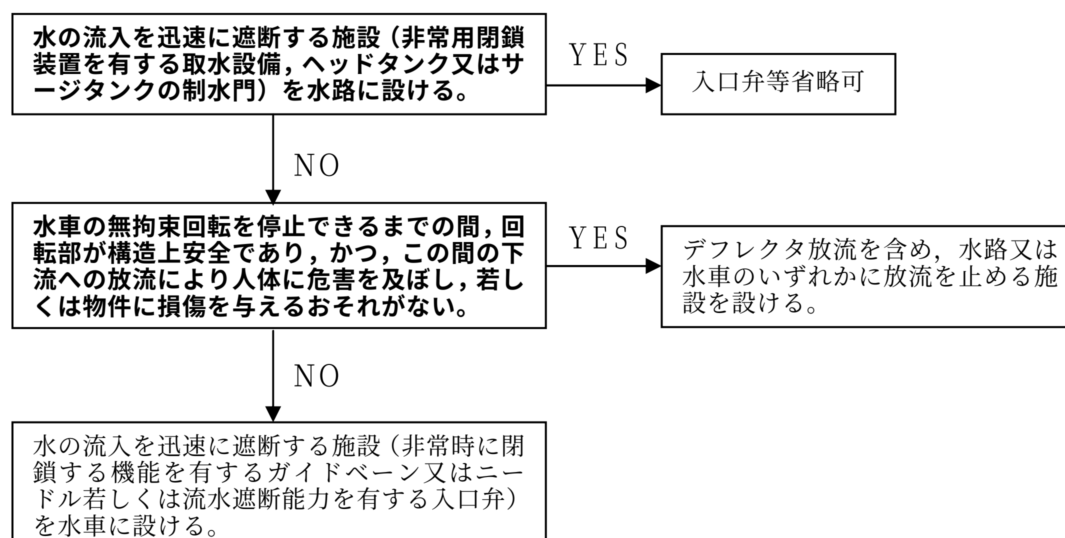
【解釈第 38 条】

第 1 項では省令第 34 条に規定した「水の流入を迅速に遮断する施設」を具体的に掲げている。この中で「非常時に閉鎖する機能を有する…」，「非常用閉鎖装置を有する…」は操作系統の二重化，または非常用電源装置等の確保により，確実に水の流入を遮断する施設義務を規定している。

第 2 項では省令第 34 条のただし書き以降で除外した「水の流入を迅速に遮断する施設」は必要ないものの，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合の放流及びデフレクタ放流を行う場合は，水路または水車のいずれかに「放流を止める施設」を義務付けている。

以上から，水路または水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が一つ必要であり，関係法令上から，止水設備を全く省略することはできない。

図Ⅳ-5.5 は，これら省令等をフロー形式に整理したものである。止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンスの際に必要となる設備であり，現実的には止水設備を全て省略することは計画しない。このため，水車型式は何か，適用施設での条件は何か，止水設備を水路側に設けるのか水車側に設けるのか等，条件に応じた計画設計が必要である。



図Ⅳ-5.5　入口弁等省略に関わる省令等フロー

また，止水設備の緩和条件である省令第 34 条のただし書き以降「…無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり…」は，水車に限定されず，主軸またはギヤ，ベルトで連結される発電機にも適用されるため，簡易発電システムに適用可能としている永久磁石発電機等は水力での事例が極めて少ないため,その設計条件を明確にする必要がある。このため，無拘束回転に耐えられない標準品を適用する場合には，関係法令通り「水の流入を迅速に遮断する施設」を設けるか，無拘束回転時に水車から発電機を切り離す機構等を検討する必要がある。

省令第 34 条第 2 項には，水車の保護に関する内容が規定されているが，簡易発電システムでは，出力 500kW 未満を対象としており，該当しない。

表Ⅳ-5.6 に省令第 34 条第 2 項の内容を示す。

表Ⅳ-5.6　水車の保護に関する規定

発電用水力設備に関する技術基準を定める省令
(第 34 条)　水車及び揚水用のポンプ（以下，水車に限定して抜粋） 2 水車には，発電機の容量が 500kVA 未満の場合を除き，運転中に生じた過回転その他の異常による危害の発生を防止するため，その異常が発生した場合に水車を自動的かつ確実に停止する装置を設けなければならない。

(2) **調速装置**

水車回転速度を一定に制御する GV またはニードル，アクチュエータ及びこれらの制御装置全てを省略する。このため,GV や補機が省略される結果，保守費用の軽減が図れる可能性がある。

【解説】

同期機では系統並列させるための流量・速度調整が必要になるため，基本的には調速装置は省略できないが，ダミーロードを設置したり，発電機に永久磁石発電機を採用する場合は，INV 制御による速度制御が可能なため，調速装置を省略できる。

最近では，パワーエレクトロニクスの開発が目覚しく，汎用 INV の適用も可能で，コスト的にも低廉化していることから,永久磁石発電機によるシステム構成であっても，誘導発電機に比べコスト減になるとの試算もある。

なお，永久磁石発電機可変速システムにおいて，調速装置を省略した場合は，入口弁か適当な流量調整ゲートがないと起動が難しいので，両者の省略は困難である。

調速装置を省略した場合，系統並列運転から単独運転に移行すると，発生出力と負荷のアンバランスに伴う回転速度変動による電圧変動対策を考慮する必要がある(ここで単独運転とは，一般配電線を含まない構内または所内単独運転を指す)。

調速装置の省略可否は，入口弁のように直接抵触する関係法令はないが，上述のように運転制御方式による判断が必要である。

(3) **システムの違いによる機器簡素化・合理化時の課題とその対策**

入口弁および調速装置を省略した場合の課題とその対策を,定速システムと可変速システムに区分して整理する。

【解説】

ここで，可変速システムとは落差や流量の変化により，水車発電機の速度変化が生じても商用周波電源を系統や単独負荷に供給可能なシステムを指す。

表Ⅳ-5.7 は，システムの違いによる機器簡素化・合理化時の課題とその対策を示したものである。入口弁省略時の課題とその対策については，定速または可変速のシステムの違いによって変わる要素はない。原則として，発電用水力設備技術基準に規定された条件を満足していれば省略できる。

一方，調速装置の省略は，定速または可変速のシステムの違いによって，大きな違いがある。定速システムの同期発電機では速度一定制御のために調速装置の省略が不可能であるのに対し，可変速システムは，インバータ（INV）による調速制御が可能であり，調速装置が省略されることに大きなメリットがある。なお，運転時の落差や流量により回転速度が決定されるため，回転速度が不規則であり，電気的（主機や INV の耐電圧等）にも機械的（軸受構造等）にも，通常以上の考慮が必要になる。

表IV-5.7　システムの違いによる機器簡素化，合理化時の検討

比較項目	簡易発電システム	定速システム	可変速システム ※簡易発電システムにおける可変速システムとは，落差や流量の変化により，主機の速度変化が生じても，商用周波電源を系統や単独負荷に供給可能なシステムを指す。
		・かご形誘導発電機定速運転システム ・同期発電機定速運転システム（直流励磁）	• 永久磁石同期発電機可変速運転システム • 分巻直流発電機可変速運転システム
入口弁	入口弁省略可否 入口弁を省略した場合の課題及びその対策	下記条件のいずれかを満足すれば可能である。 ・非常時に閉鎖する機能を有するGVまたはニードルを水車に設ける場合 ・非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンク又はサージタンクの制水門を水路に設ける場合 ただし，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れがない場合は，デフレクタ放流を含め，水路または水車のいずれかに放流を止める施設を有する必要がある。←最低限何かしらの止水設備が一つ必要になる。	下記条件のいずれかを満足すれば可能である。 ・非常時に閉鎖する機能を有するGVまたはニードルを水車に設ける場合 ・非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンク又はサージタンクの制水門を水路に設ける場合 ただし，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れがない場合は，デフレクタ放流を含め，水路または水車のいずれかに放流を止める施設を有する必要がある。←最低限何かしらの止水設備が一つ必要になる。
	簡素化入口弁 （手動：開，重錘：閉） の採用可否	迅速に流水を遮断する性能を有する場合は法的条件を満足するが，この性能を有さない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可である。なお，主機始動時は保守員が現場で主機を始動させる必要がある。	迅速に流水を遮断する性能を有する場合は法的条件を満足するが，この性能を有さない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可である。なお，主機始動時は保守員が現場で主機を始動させる必要がある。
調速装置	調速装置省略可否	同期発電機は不可（定速運転させる必要があるため），誘導発電機は可である。	可である。
※ここで，調速装置はGVまたはニードル，アクチュエータ及びこれらの制御装置を含む。	調速装置を省略した場合の課題及びその対策	1.　速度制御 入口弁等による速度制御を行う。ただし，調速装置のように，きめ細やかな速度制御は期待できないため，ある速度における入口弁等の開度を現地にて調整，決定する必要がある。 2.　系統並列方法 入口弁等による揃速により，系統並列を行う。ただし，入口弁等では完全な同期速度に調整することは難しいため，同期速度を基準とした速度範囲内（例えば，同期速度の±10%以内など）で系統並列させる。 3.　負荷調整 単独負荷への電源供給の場合は，ダミーロード等を用いて，きめ細かな負荷調整を行う。	1.　系統並列方法 入口弁等の開度が約10%のところで，INVより系統側または単独負荷側へ定格周波数及び電圧が発生する。電圧が定格電圧になったところで，自動または手動により系統並列する。 2.　水車発電機運転制御 水車発電機は，運転時の落差及び流量により回転速度が決定されるため，水車発電機から発生した電力の周波数及び電圧は，回転速度にほぼ比例して変動する。 水車発電機から発生した電力は，コンバータ（CONV）及びINVにより商用周波数に変換されるため，INVから出力される電力の周波数は商用周波数となる。 電圧は系統並列の場合，系統電圧によりほぼ一定となるが，単独負荷への電力供給の場合は水車発電機の回転速度の変化により，電圧変動が発生する。 3.　負荷調整 単独負荷への電源供給の場合は，ダミーロードなどを用いて，きめ細かな負荷調整を行う。 4.　並列用遮断器解列時 事故等により並列用遮断器の解列で無負荷になり，回転速度が上昇した際に，発電機回路電圧が上昇する。その対策としては，以下が考えられる。 1）発電機保護 水車から発電機への機械入力伝達を切り離す。例えば，ベルト伝達であれば過速度でベルトが外れるようにする，ギアであればクラッチで切り離す。 2）INV素子 INV素子の耐電圧を考慮する必要がある。また，INV素子をマグネットスイッチ等より，回路から切り離す方法も考えられる。
特質検討	入口弁省略可否	○（法的条件有り）	○（法的条件有り）
	簡素化入口弁の採用可否	○（法的条件有り）	○（法的条件有り）
	調速装置省略可否	△（同期発電機は不可，誘導発電機は可）	◎
	主機やインバータの耐電圧考慮要否	○（通常仕様通り必要）	△（通常仕様よりも考慮要）
	軸受構造への考慮要否	○（通常の考慮要）	△（通常以上の考慮要）

定速システムでも誘導発電機であれば調速装置は省略可能であるが，水車型式により，GV 等の流量調整機能を有する場合は省略できない。

また，調速装置を省略する場合は，水車起動時の速度制御を入口弁等による流量調整で行う必要があり，調速装置を省略しようとする場合は入口弁等を省略することができない。なお，調速装置を有するため，入口弁を省略した例は多い。

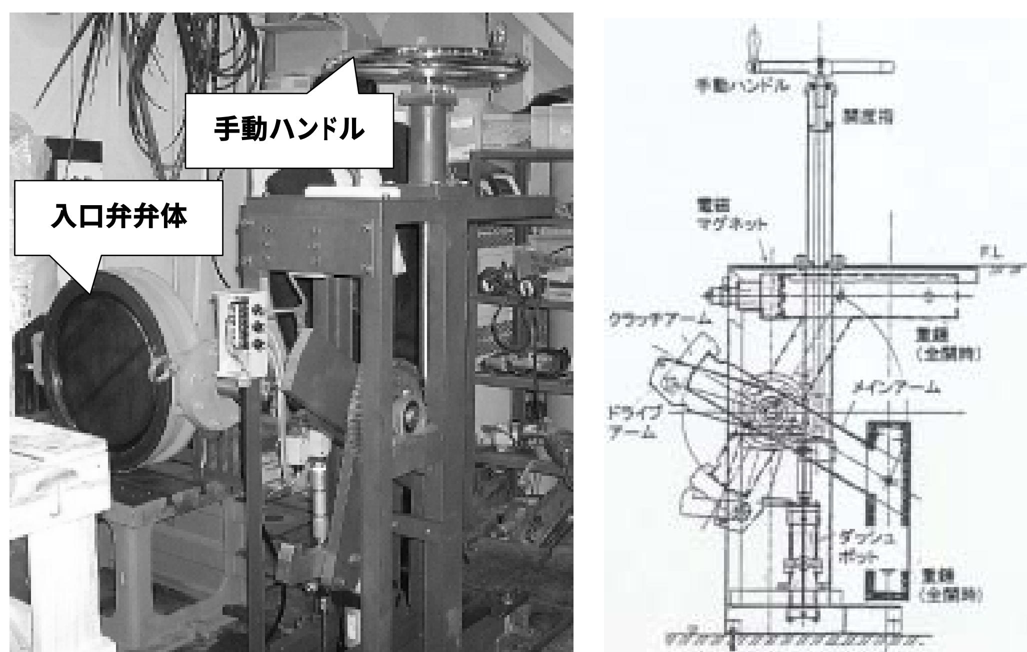
このように，水車型式及び発電機種別，運転条件等により機器簡素化，合理化が可能な要素が変化することから，簡易発電システムにおける機器簡素化の検討にあたっては，その特質を睨んで仕様検討する必要がある。

機器簡素化・合理化の観点から，関係法令を満足した重錘閉鎖装置付入口弁が実用化されている。

【解説】

表Ⅳ-5.7 に記載ある簡素化入口弁（重錘閉鎖装置付入口弁）は，電動サーボ等による操作機構，制御装置からの開閉操作指令を省略し，開操作は手動，閉操作は手動または重錘による自重とした簡素化を図ったものである。

モニタリング調査した結果からも，数ヶ所の発電所で実用化されていた。その具体的事例，操作機構を図Ⅳ-5.6 に示す（大分県中津江村 T 発電所）。



図Ⅳ-5.6　重錘閉鎖装置付入口弁

操作方法，動作は以下の通り。

①入口弁開は手動ハンドルにより操作し，合せてメインアーム重錘を引き上げる。

②入口弁閉（停止または事故時）は，メインアーム重錘が自重で下がることにより操作され，その速度はダッシュポットで制限される。

入口弁本体が迅速に流水を遮断する性能を有する場合は，前述した「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈」の法的条件を満足しているが，この性能を有さない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可能である。

(4) **保護装置**

保護装置に係る電気設備技術基準は，省令第 46 条および解釈第 51 条である。これは「常時監視をしない発電所等の施設」として，発電所の規模と随時巡回，随時監視，遠隔常時監視の区分毎に施設すべき保護装置等の技術的要件を規定している。

【解説】

表Ⅳ-5.8 は，電気設備技術基準の省令第 46 条および解釈第 51 条のうち，水力発電所に限って抜粋したものである。簡易発電システムにおいては，出力 500kW 未満を対象としており，電気の供給に与える影響が小さいと考えられることから，原則として解釈第 51 条第 1 項第一号の「随時巡回方式」の適用が一般的となる。

【省令第 46 条】

第 1 項では発電所の常時監視を原則として義務付けているが，第 2 項で異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置を講じれば，常時監視をしない発電所を認めている。つまり，保護装置の設置義務である。

【解釈第 51 条】

省令第 2 項で規定した「異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置」を具体的に掲げ，監視方式区分毎に表形式で保護装置等の設置を義務付けている。監視方式は随時巡回，随時監視，遠隔常時監視の 3 つに区分されるが，水力発電所においては，監視区分に関係なく施設すべき保護要素は同じである。

表Ⅳ-5.8　保護装置に関わる技術基準

電気設備に関する技術基準を定める省令
(第 46 条)　常時監視をしない発電所等の施設（以下，発電所に限定して抜粋） 異常が生じた場合に人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与えるおそれがないよう，異常の状態に応じた制御が必要となる発電所，又は一般電気事業に関わる電気の供給に著しい支障を及ぼすおそれがないよう，異常を早期に発見する必要のある発電所であって，発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者が当該発電所又はこれと同一の構内において常時監視をしないものは施設してはならない。 2 前項に掲げる発電所以外の発電所であって，発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者が当該発電所若しくはこれと同一の構内において常時監視をしない発電所は，非常用予備電源を除き，異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置を講じなければならない。
電気設備の技術基準の解釈について
(第 51 条)　常時監視をしない発電所等の施設（以下，水力発電所に限定して抜粋） 発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者（以下，この条において「技術員」という）が，当該発電所又はこれと同一の構内において常時監視しない水力発電所は異常が生じた場合に安全かつ確実に停止できるように，次の各号により施設すること。 一　原動機及び発電機に自動負荷調整装置又は負荷制限装置を施設する水力発電所（水車への流入量が固定され，自ら出力が制限される場合はこの限りでない）であって，電気の供給に支障を及ぼさず，かつ，技術員が随時巡回する場合は，表に掲げる必要な措置を施設すること。ただし，出力 2,000kW 未満のものに限る。 二　原動機及び発電機に自動負荷調整装置又は負荷制限装置を施設する水力発電所（水車への流入量が固定され，自ら出力が制限される場合はこの限りでない）であって，当該発電所又はその構外にある技術員駐在所のいずれかに技術員が常時駐在する場合（前号に掲げるものを除く）は，表に掲げる必要な措置を施設すること。 三　当該発電所を遠隔監視制御する制御所（「発電制御所」という）に技術員が常時駐在する場合は，表に掲げる必要な措置を施設すること。

表Ⅳ-5.9 は，水力発電所において施設が義務付けられている保護装置を抜粋したものである。簡易発電システムにおいては，出力 500kW 未満を対象としており，表中網掛部の保護装置を設置しなければならない。

なお，発電用水力設備技術基準の省令第 34 条第 2 項との関連で，水車を自動的に停止させる装置の施設が必要ないのは，発電用水力設備術基準では「発電機容量 500kVA 未満」のみの規定であるのに対し，電気設備技術基準では「無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれがない場合」とする条件が追加されている（二重に規定しない取扱い)。

表Ⅳ-5.9　保護装置の施設義務（水力発電所に限定して抜粋）

一	次に掲げる場合に発電機を電路から自動的に遮断し，かつ，水車を自動的に停止する装置を施設すること。ただし，イ，ロ又はハの場合に無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれのない場合はイ，ロ又はハの場合に，ハの場合に発電機を自動的に無負荷かつ無励磁にする装置を施設する場合はハの場合に，水車のスラスト軸受が構造上過熱のおそれがない場合はニの場合に，水車を自動的に停止させる装置の施設は要しない。
イ	原動機制御用圧油装置の油圧，圧縮空気装置の空気圧又は電動式制御装置の電源電圧が著しく低下した場合
ロ	原動機の回転速度が著しく上昇した場合
ハ	発電機に過電流が生じた場合
ニ	定格出力が 500kW 以上の原動機又はその発電機の軸受の温度が著しく上昇した場合
ホ	容量が 2,000kVA 以上の発電機の内部に故障を生じた場合

□部分が小水力発電で該当する項目
（水技省令第 34 条第 2 項との関連）
水車を自動的に停止させる装置の施設有無で，水技では発電機容量 500kVA 未満のみの規定であるが，電技では「無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれがない場合」としており，結果，両者を満足しなければ水車を自動的に停止させる装置の施設が必要となる。

(5) **単独運転検出装置**

一般電気事業者および卸電気事業者以外の者が，発電設備等を電力系統に連系する場合，逆変換装置の有無および逆潮流の有無に応じ，異常時に発電設備等を解列するための装置として，単独運転検出装置を設置する。

【解説】

低圧連系の場合，電気設備技術基準の解釈第 276 条により，別表題 22 から逆変換装置有りでは逆潮流有無に係らず「受動的方式および能動的方式のそれぞれ 1 方式以上」と規定されている。ただし，逆潮流無しの場合は不足電圧及び不足電力検出機能を組合せた逆充電検出機能を有する装置で代替できる。

一方，逆変換装置無しでは逆潮流無しの場合に限り，「受動的方式」と規定されている。低圧連系では，逆変換装置が無い場合に逆潮流有りの条件で発電設備等を電力系統に連系することは不可とされている（なお,電力協議により系統解析の結果から誘導発電機で低圧連系した事例あり）。

高圧連系の場合は，電気設備技術基準の解釈第 281 条により，別表題 23 から逆変

換装置の有無に係らず,逆潮流有りでは「能動的方式１方式以上」と規定されている。ただし，転送遮断装置（専用通信線または電気通信事業者の専用回線で遮断信号を伝送し，発電設備等を解列するもの）で代替できるが，簡易発電システムにおいては経済性の観点から現実的でないと思われる。

一方，高圧連系で逆潮流無しの場合は，単独運転検出装置は不要であるが，単独運転を検出する逆電力および周波数低下継電器が必要となる。

単独運転検出機能を有する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多種の方式が実用化されている傾向にあり，発電機種別による機器仕様，逆潮流有無，運転状況等を考慮した装置選択が必要である。

単独運転検出装置の価格は，メーカーを対象とした市場調査の結果，数百万円から数千万円と幅があるが，最近では低廉で，単独運転検出機能を内蔵した太陽光発電用パワーコンディショナが市販され，汎用性も高く，簡易発電システムへの適用が期待されている（既に実用化された事例あり）。

なお，機器簡素化及び合理化によるコストダウンの観点から，以下により能動的な単独運転検出装置を省略する考え方もあるが，個別検討が必要である。

① 線路事故の多くは二相短絡や一相地絡によるものであり，この場合は電圧，周波数などの三相バランスが崩れるため，周波数継電器や不足電圧継電器動作のみで線路事故を検出するとするもの。この検出方式は多数の実績がある。

② この検出方式における継電器誤動作の場合は，発電機を電路から遮断し，主機を停止とする。

③ この検出方式における課題は，周波数や電圧のバランスが崩れないで線路事故が発生した場合に単独運転検出ができない点にある（頻度としては極めて低いと考えられる）。

また，モニタリング調査の中では，系統連系ガイドラインが施行された（昭和 61 年）以前の発電所において，再開発する場合や発電設備が末端電源である等の理由により，電力協議の結果で単独運転検出装置を設置していない事例も確認された。

このため，単独運転検出装置は系統状況や運用形態，系統シミュレーションの結果等から，電力協議を通じて省略できる可能性がある。

５．１．４　適用施設別関係法令

(1) 関係法令

> 適用施設・種類別に適用される関係法令は，土地収用法，自然公園法など多岐に渡る。

【解説】

適用施設・種類別に適用される関係法令の主なものについて整理して表IV-5.10 に示した。適用施設の設置場所によっては，適用のない法令もあるため，個別の検討時はどの法令の制約を受けるかの確認が必要である。

具体的な許可条項の内容は，表IV-5.11 に示した。

表IV-5.9　適用施設・種類別に係る主な法令

適用施設	種類	関係する主な法令															
		自然公園法自然環境保全法	水産資源法	鳥獣及び狩猟に関する法律	農業振興地域の整備に関する法律	自然公園法	自然環境保全法	農地法	採石法	地すべり等防止法	水産資源法	土地収用法	文化財保護法	建築基準法	森林法	国有林法	砂防法
農業用水利施設	高さ15m以上のダム	○		○	○												
	取水堰	○			○	○		○			○			○			
	水路工				○		○	○				○	○	○			
砂防ダム	砂防ダム			○		○	○		○	○					○	○	○
発電用ダム（河川維持流量）	高さ15m以上のダム	○		○													
	高さ15m未満のダム	○		○													
上工業用水利施設	取水堰	○			○	○		○			○			○			
	水路工				○		○					○	○	○			

上表において，共通である「発電用水力設備に関する技術基準の省令」および「河川管理施設等構造令」は記載を省略した。適用施設の設置位置によっては，適用のない法令もあるため，個別の検討時は確認が必要である。

表IV-5.10　関係法令の許可条項

法　令	条　項	内　容
砂防法	第4条	砂防指定地における行為の許可
土地収用法	第11,16,47条	事業準備のための立ち入り許可，認定
自然公園法	第17,18,20条	特別地域，特別保護地域または普通地域における工作物設置，立木伐採，河川・湖沼の水位又は水量に増減を及ぼさせることの許可
自然環境保全法	第17,25,28条	原生自然環境保全区域内，自然環境保全地区内での行為の許可
鳥獣保護及び狩猟に関する法律	第8条	特別鳥獣保護地区での行為の許可
文化財保護法	第57条	埋蔵文化財包蔵地内での土木工事の事前届出
農地法	第4,5条	農地転用の許可，事前審査申出
農業振興地域の整備に関する法律	第15条	農用地区域の除外許可
森林法	第10,27条	林地開発の許可，立木伐採の届出，保安林解除
国有林野法	第7条	国有林野の伐採許可，売払申請，貸付申請
水産資源保護法	第18条	工事の制限等に係る許可
国土利用計画法	第14,23条	土地に関する権利の移転等の許可，届出
国有財産法	第8,20条	国有財産のこう用の廃止願い，処分等の許可
建築基準法		建築物確認申請
地すべり等防止法	第18条	地すべり防止区域内での行為の許可制
農山漁村電気導入促進法	第3,6,12条	全国農山漁村電気導入計画に繰り入れのこと 事業計画書の提出，電気事業法との関係

注：「表4-4　適用施設・種類別に係る主な法令」において記載がなくとも，上表により該当の有無を確認するものとする。

(2) 関連する基準等

簡易発電システムを適用する土木設備に関する各技術基準および条項等を抽出・整理する。ただし，全てが該当する訳でなく，個別の検討時に該当有無を確認する必要がある。

【解説】

以下に，抽出した技術基準等について示す。

共　　通：発電用水力設備に関する技術基準（経済産業省）
　　　　　河川管理施設等構造令（国土交通省）

ダ　　ム：ダム・堰施設技術基準（案）（ダム・堰施設技術協会）
　　　　　水門・樋門ゲート設計要領（案）（ダム・堰施設技術協会）
　　　　　水門鉄管技術基準（水門鉄管協会）
　　　　　土地改良事業計画設計基準・ダム

砂防ダム：河川砂防技術基準（案）（国土交通省）
　　　　　砂防設計マニュアル（全国治水砂防協会編）
　　　　　砂防設備等有効利用技術審査基準（案）

取水堰　：土地改良事業計画指針・農村環境整備（農林水産省構造改善局計画部平成 9 年 7 月）
農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル（農林水産省構造改善局　建設部平成 7 年 12 月）
土地改良事業計画設計基準・頭首工
水道施設設計指針・同解説（厚生省監修，日本水道協会）
水道施設耐震工法指針・同解説（日本水道協会）
工業用水道施設基準解説（日本工業用水協会）

水路工　：土地改良事業計画設計基準・水路工

その他資料：国有林野のエネルギー資源利用検討会　報告書（平成 13 年 2 月）
砂防設備の発電利用に関する水政・開発・砂防三課合意メモについて
各地方自治体制定の設計標準（基準書，要領，他）
砂防設備の利用に関する審査意見書（設備管理者が第三者機関（砂防地すべり技術センター）に意見を聞く場合）

適用施設・設備別に係る基準等として整理し，表Ⅳ-5.11 に示す。各技術基準と条項については表Ⅳ-5.12 に示す。

簡易発電システムに適用が見込まれる取水設備について，技術的要求事項を法令等に起因する要求事項を表Ⅳ-5.13 に示す。

簡易発電システムに適用が見込まれる水圧管路について，技術的要求事項を法令等に起因する要求事項を表Ⅳ-5.14 に示す。

表IV-5.11　適用施設・設備に係る基準等

適用施設	種類	関係する基準等	備考
農業用水利施設	高さ 15m 以上のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準 土地改良事業計画設計基準・ダム 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル	
	取水堰	土地改良事業計画指針・農村環境整備 土地改良事業計画設計基準・頭首工 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案）	
	水路工	土地改良事業計画設計基準・水路工 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル	
砂防ダム	砂防ダム	河川砂防技術基準（案）（国土交通省 砂防設計マニュアル（全国治水砂防協会編） 砂防設備等有効利用技術審査基準（案）	
発電用ダム（河川維持流量）	高さ15m以上のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準	
	高さ 15m 以下のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準	
上下水道・工業用水利施設	取水堰	水道施設設計指針・同解説 水道施設耐震工法指針・同解説 工業用水道施設基準解説	
	水路工	水道施設設計指針・同解説 水道施設耐震工法指針・同解説 工業用水道施設基準解説	

上表において，共通である「発電用水力設備に関する技術基準」および「河川管理施設等構造令」は記載を省略した。

表Ⅳ-5.12(1)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　　用
共　通	発電用水力設備に関する技術基準（経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 1 条 適用範囲 第 25 条 放流設備の施設制限 第 26 条 水路一般事項 第 27 条 取水設備 第 28 条 沈砂池 第 29 条 導水路 第 32 条 水圧管路 第 33 条 放水路 第 36 条 貯水池及び調整池
砂防ダム	発電用水力設備に関する技術基準（経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 6 条 ダム 第 8 条 堤体に作用する荷重 第 15,18 条 堤体の強度 第 16,22 条 堤体の安定 第 17,20,23 条 堤体の施設
	河川砂防技術基準（案）（国土交通省）	第 3 章 砂防施設の設計 第 2 節 砂防ダム
	砂防設計マニュアル（全国治水砂防協会編）	全般
	砂防設備等有効利用技術審査基準（案）	全般
取水堰(可動堰)	河川管理施設等構造令（国土交通省）	堰 第 36 条 可動堰の稼働部のゲートの構造
	河川砂防技術基準（案）（国土交通省）	第 1 章 第 7 節堰
	土地改良事業計画指針・農村環境整備（農林水産省構造改善局計画部 平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・頭首工（農林水産省構造改善局 平成 7 年 7 月）	可動堰全般
	ダム・堰施設技術基準（案）（ダム・堰施設技術協会）	第 2 章水門扉
	水門鉄管技術基準　水門扉編（水門鉄管協会）	全般
	農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル（農林水産省構造改善局建設部 平成 7 年 12 月）	全般

表Ⅳ-5.12(2)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　　用
取水堰 (固定堰)	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 1 章　第 7 節堰
	土地改良事業計画指針・農村環境整備 （農林水産省構造改善局計画部 平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・頭首工（農林水産省構造改善局 平成 7 年 7 月）	固定堰全般
	農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル （農林水産省構造改善局建設部 平成 7 年 12 月）	全般
ダ　ム	発電用水力設備に関する技術基準 （経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 6 条　ダム 第 8 条　堤体に作用する荷重 第 15,18 条　堤体の強度 第 16,22 条　堤体の安定 第 17,20,23 条　堤体の施設
	河川管理施設等構造令 （国土交通省）	ダム 第 3 条　適用の範囲 第 6 条　堤体等に作用する荷重の種類 第 10 条　ゲート等の構造の原則 第 11 条　ゲートに作用する荷重の種類 第 12 条　荷重等の計算方法 第 15 条　地滑り防止工及び漏水防止工
	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 2 章　ダムの設計
	ダム・堰施設技術基準（案） （ダム・堰施設技術協会）	第 2 章　水門扉
	水門鉄管技術基準　水門扉編 （水門鉄管協会）	全般
	水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鋼構造物編 （水門鉄管協会）	水圧鉄管全般

表IV-5.12(3)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　　用
水路工	土地改良事業計画指針・農村環境整備 （農林水産省構造改善局計画部 　平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・ 水路工(その 1) （農林水産省構造改善局）	全般
	農業用水利施設小水力発電設備・ 計画設計技術マニュアル （農林水産省構造改善局建設部 　平成 7 年 12 月）	
	水門・樋門ゲート設計要領（案） （ダム・堰施設技術協会）	用水用樋門に適用
	水道施設設計指針・同解説 （厚生省監修，日本水道協会）	
	水道施設耐震工法指針・同解説 （日本水道協会）	
	工業用水道施設基準解説 （日本工業用水協会）	全般

表Ⅳ-5.13　取水設備に対する技術的要求事項

要求事項	該当法令等
取水設備の設置位置	「水力設備に関する技術基準を定める省令」 一般事項　　第26条　　水路は，次の各号により施設しなければならない
取水設備の安定性と流入状況の保持	一　洪水，山崩れ，なだれ等により損傷を受けるおそれがないこと 二　設計水量以上の水量が流入するおそれがある場合には，その水量を安全に排除できるこ と 三　流木，じんかい，土砂等の流入により著しく損傷を受けるおそれがないこと
取水設備の使用材料	四　水路に使用するコンクリートの材料は第10条の各号によること 五　水路に使用するコンクリート以外の材料は，水路に必要な化学的および機械的性能を有 するものであること
取水設備の材料強度	取水設備　　第27条　取水設備は，次の各号により施設しなければならない 一　取水設備は，自重および土圧に対して安定であり，かつ，これらの荷重による応力は，　使用する材料ごとにそれぞれの許容応力度を超えないこと
ゲートの適用範囲	「水門鉄管技術基準・水門扉編」 第1節 総則 第2条 この基準は，発電用・農業用・港湾用等の水門扉，放流管，取水塔，スクリーンお よび付属設備に適用する
ゲートの基本条件	第5条　水門扉は，次の各号に適合するよう設計しなければならない ・確実に開閉できること ・考慮すべき荷重に対して安全であること ・適切な水密性および耐久性を有すること ・有害な振動を生じないこと ・操作が確実で，保守管理が容易であること
ゲートの応力度の照査	第9条 水門扉の設計は，確実に機能を発揮するよう，応力度，たわみ度や座屈について照 査し，安全性を確認しなければならない
ゲートの 材料の許容応力度	第15条　額，戸当り，湖底部，取水塔およびスクリーンに用いられる構造用鋼材，鋳・鍛鋼品　および機械構造用炭素鋼の許容応力度は次のとおりとする
ゲートの開閉装置用 材料の安全率	第19条　開閉装置に使用する材料の安全率は，使用原動機の定格トルクから算出した応力 度が，使用材料の引張強さに対し，表に示す値以上とし，かつ，最大トルクから 算出した応力度が使用材料の降伏点の90%以下にしなければならない
ゲートの許容たわみ度	第20条　扉体の曲げによるたわみ度は，径間に対して表に示す値以下としなければならな い
可動堰の構造	「土地改良事業計画設計基準・頭首工」 3.2.1　可動堰は，ゲート操作により，取水時における必要な水位および洪水時における流 水の安全な流下を確保し，流水その他の外力に対して安全な構造とする
固定堰の構造	3.2.2　固定堰は，取水時には必要な水位を確保し，洪水時には流水の流下に著しい支障を 与えず，外力に対して安全で水利的に有利な断面を有する構造とする
ゲートの構造	3.2.7　ゲートは，取水確保のため必要な水密性を有し，流水等の外力に対して安全で，開 閉が確実かつ円滑に行える構造とする

表Ⅳ-5.14(1)　水圧管路に対する技術的要求事項

要求事項	該当法令等（水力設備に関する技術基準を定める省令）
設置位置	一般事項 第26条　水路は，次の各号により施設しなければならない
設備の安定性 流入状況を保持	一　洪水，山崩れ，なだれ等により損傷を受けるおそれがないこと
	二　設計水量以上の水量が流入するおそれがある場合には，その水量を安全に排除できること
	三　流木，じんかい，土砂等の流入により著しく損傷を受けるおそれがないこと
使用材料	四　水路に使用するコンクリートの材料は第10条の各号によること
	五　水路に使用するコンクリート以外の材料は，水路に必要な化学的および機械的性能を有するものであること
全般	水圧管路 第32条　水圧管路は，次の各号により施設しなければならない
許容応力度	一　次の表の上覧に掲げる形式の水圧管路にあっては，それぞれ同表の下欄に掲げる荷重による応力‥‥は，使用する材料ごとにそれぞれの許容応力度を超えないこと
振動，座屈，腐食	二　管胴本体は，振動，座屈および腐食に対し安全であること
最低動水勾配線	三　ヘッドタンク又はサージタンク（これらがない場合は，取水設備）の水位が最低の場合における最低動水勾配線以下に位置すること
漏水	四　危険な漏水がないこと
安定性，許容応力度	五　アンカーブロックは，次によること イ．管胴本体を確実に固定するものであること ロ．アンカーブロックは，自重，‥‥荷重に対し安定であり，‥‥使用する材料ごとにそれぞれの許容応力をこえないこと
安定性，伸縮吸収	六　支台は，次によること イ．支台は，自重‥‥荷重に対し安定であり，‥‥使用する材料ごとにそれぞれの許容応力をこえないこと ロ．支台の支承部は，管胴本体の伸縮の際に管胴本体が安全かつ円滑に移動できる構造であること

表Ⅳ-5.14(2)　水圧管路に対する技術的要求事項

要求事項	該当法令等（水門鉄管技術基準）
適用範囲	第１節　総則 第１条　この基準は，全ての水力発電所の水圧鉄管に適用する
水圧鉄管の計画，設計	第２節　計画一般 第３条　水圧鉄管の計画，設計は，安全性・経済性・施工性を考慮しなければばならない
設計に用いる内圧	第４条　水圧鉄管の設計に用いる内圧は，静水時にサージングおよび水撃作用よる上昇水圧を加味して，起こりうる最大水圧とする
設計に用いる外圧	第５条　水圧鉄管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力とする
損失水頭	第６条　水圧鉄管は，損失水頭ができるだけ小さくなるように主要耐圧部および附属設備の構造を決定しなければばならない
水圧鉄管の材料	第３節　材料および許容応力 第８条　水圧鉄管の主要耐圧部およびこれに直接溶接する主要な附属設備に使用する材料は，表のとおりとする。ただし，化学成分および機械的性質等について確認した場合は，表以外の材料を使用することができる
材料試験	第 10 条　本章第８条以外の材料を使用する場合の材料試験・検査および標示の方法は，それぞれ使用材料の規格に規定された方法で行い，それ以外は，鋼材の検査通則によらなければならない
許容応力	第 11 条　設計計算に用いる許容応力は，表の値以下としなければばならない。表に規定していない材料を使用するときの許容応力は，その材料の性質等について十分な検討をしたうえ，決定しなければばならない
適用範囲	第４節　主要耐圧部の設計 第 12 条　本説は，鋼板を材料とし，ロールあるいはプレス加工により製作される水圧鉄管に適用する
最小板厚	第 13 条　主要耐圧部に使用する管の最小板厚は，補剛材を使用しない場合には次式によって求めた値以上としなければならない。ただし，補剛材を使用した場合でも最小板厚は 6㎜を下回ることはできない
余裕厚	第 14 条　主要耐圧部に使用する板厚は，腐食および摩耗に対して 1.5㎜以上の余裕をつけなければばならない
溶接継手効率	第 16 条　水圧鉄管の突合せ溶接の継手効率は表のとおりとする
主要耐圧部の設計条件	第 20 条　主要耐圧部は，次の各号の条件に適合するように設計しなければばならない
振動に対する考慮	第 21 条　主要耐圧部の設計は，発電所の運転に支障をきたすおそれのある振動が発生しないように考慮しなければばならない

表Ⅳ-5.14(3)　水圧管路に対する技術的要求事項

要求事項	該当法令等（水門鉄管技術基準）
適用範囲	第 9 節　JIS 規格鋼管を用いる水圧鉄管 第 60 条　本節は，JIS 規格鋼管を用いる水圧鉄管に適用する
主要耐圧部の材料	第 62 条　主要耐圧部に使用する JIS 規格鋼管の種類は，表のとおりとする ・水道用亜鉛めっき鋼管 ・水輸送用塗覆装鋼管 ・配管用炭素鋼鋼管 ・圧力配管用炭素鋼鋼管 ・高圧配管用炭素鋼鋼管 ・配管用アーク溶接炭素鋼鋼管 ・ポリエチレン被覆鋼管 ・配管用ステンレス鋼鋼管 ・配管用アーク溶接大径ステンレス鋼鋼管
許容応力	第 63 条　設計計算に用いる許容応力は表の値以下としなければならない
適用範囲	第 10 節　ダクタイル鋳鉄管を用いる水圧鉄管 第 71 条　本説は，JIS 規格ダクタイル鋳鉄管を用いる水圧鉄管に適用する
許容応力	第 74 条　設計計算に用いる許容応力は表の値以下としなければならない
適用範囲	「水門鉄管技術基準，FRPM 水圧管編」 第 1 条　この基準はすべての水力発電所の FRPM 管を用いる水圧管路に適用する
FRPM 水圧管の計画，設計	第 3 条　FRPM 水圧管の計画，設計は，安全性・経済性・施工性を考慮しなければならない
設計に用いる内圧	第 4 条　FRPM 水圧管の設計に用いる内圧は，静水時にサージングおよび水撃作用よる上昇水圧を加味して，起こりうる最大水圧とする
設計に用いる外圧	第 5 条　FRPM 水圧管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力とする
損失水頭	第 6 条　FRPM 水圧管の損失水頭は，できるだけ小さくなるようにしなければならない
設計計算の原則	第 10 条　FRPM 水圧管の主要耐圧部の設計計算は，原則として許容応力法によって行うものとする
許容応力	第 18 条　設計計算に用いる許容応力は，第 14 条による FRP 強度層の強度を適切な安全率で除してもとめるものとする

５．２　適用施設別手続き

　簡易発電システムを導入する際に，法的手続きが必要となる。
　発電用ダム，既設砂防ダム，農業水利施設および上下水道・工業用水利施設利用の場合について，法的手続きフローを示す。

【解説】

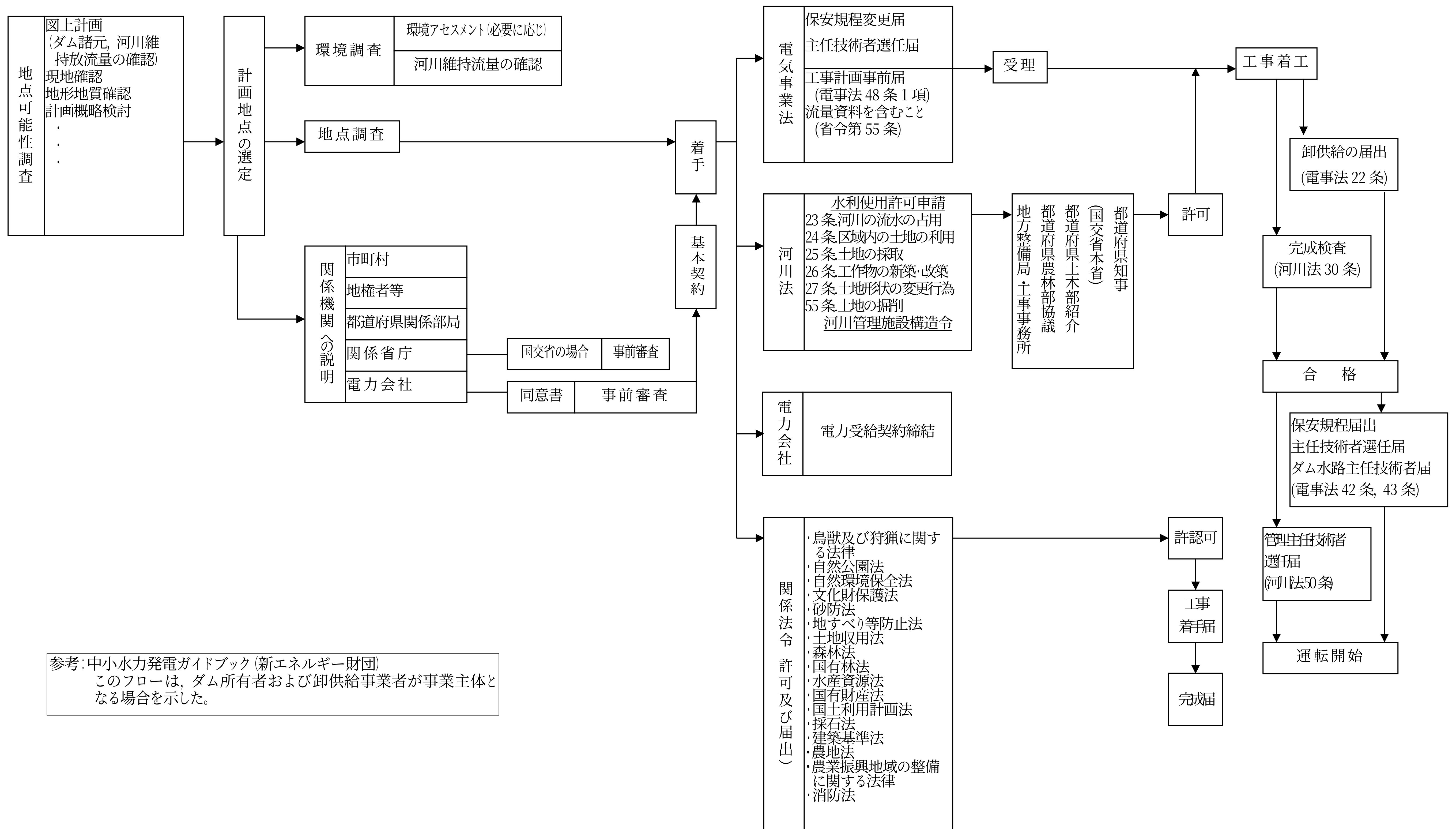
　図IV-5.7～10 に適用施設別の法的手続きフローを示す。

　計画地点の選定から着手するまでに必要な手順は，まず計画地点の選定で，概略調査及び概略計画により規模を把握し，経済性の検討を行ったうえで選定した地点の計画概要を作成する。次に，計画地点の選定に伴い，建設を前提とした諸現地調査および設計を行うとともに，流量の調査を行い，並行して建設予定市町村関係，地権者関係，都道府県知事部局関係，省庁関係等への説明または協議を行い，同意もしくは協力を得る。電力会社へ売電する場合は，電力会社との間で開発同意や受給契約を締結する。

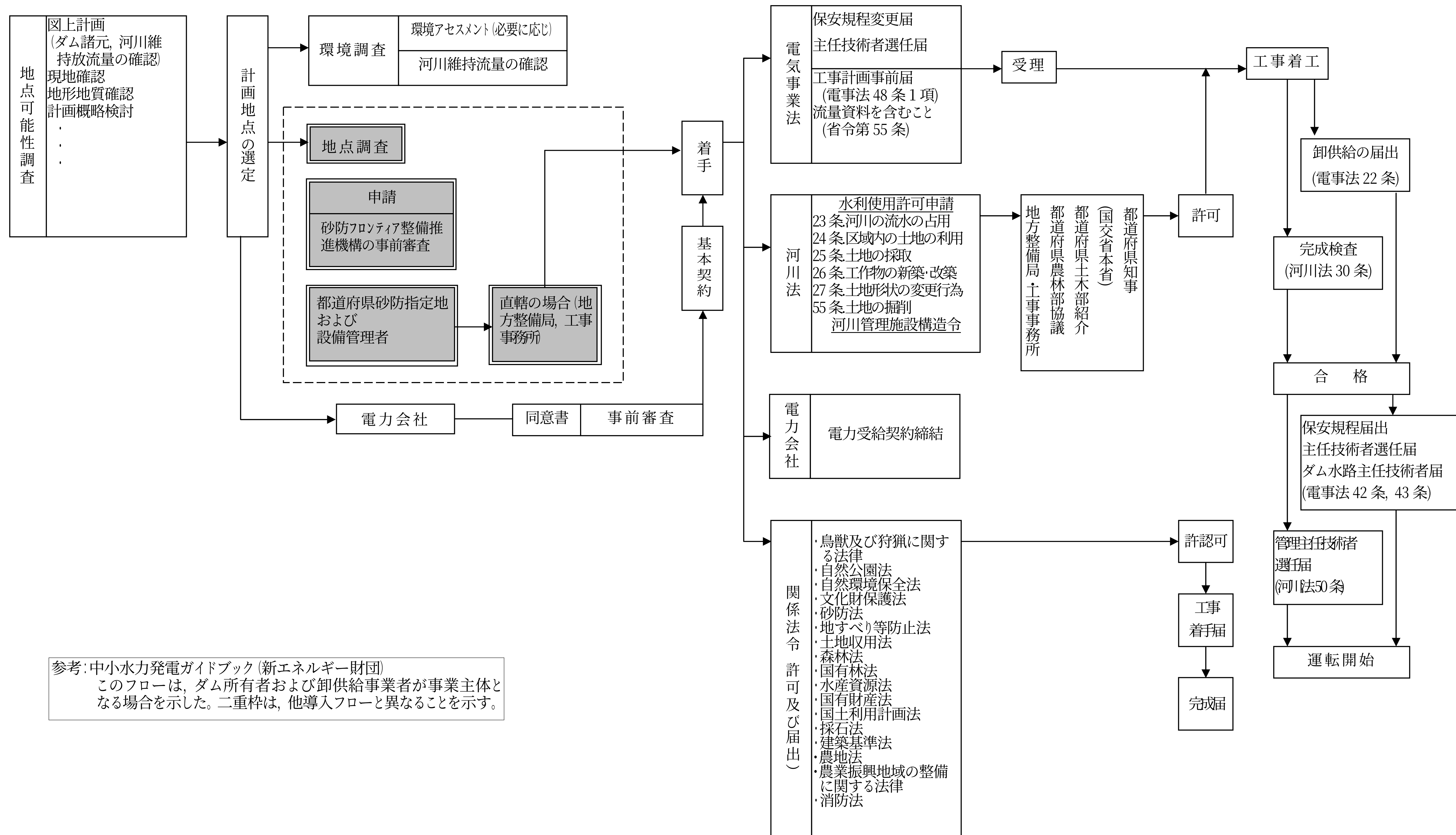
　着手から許認可を得るまでに必要な手順は，電気事業法による工事計画の事前届出を経済産業大臣に対し行い，河川法による各種許可の申請を当該河川の管理者に対して行う。その他計画位置において該当する関連法令について,開発行為に必要な許可の申請を行う。

　河川指定のなされていない河川の上流部（渓流部など普通河川）では，河川指定の手続きが必要となるので注意が必要である。いずれの場合も，河川法上の特定水利使用となるため，流水の占用の許可等の申請が必要である。

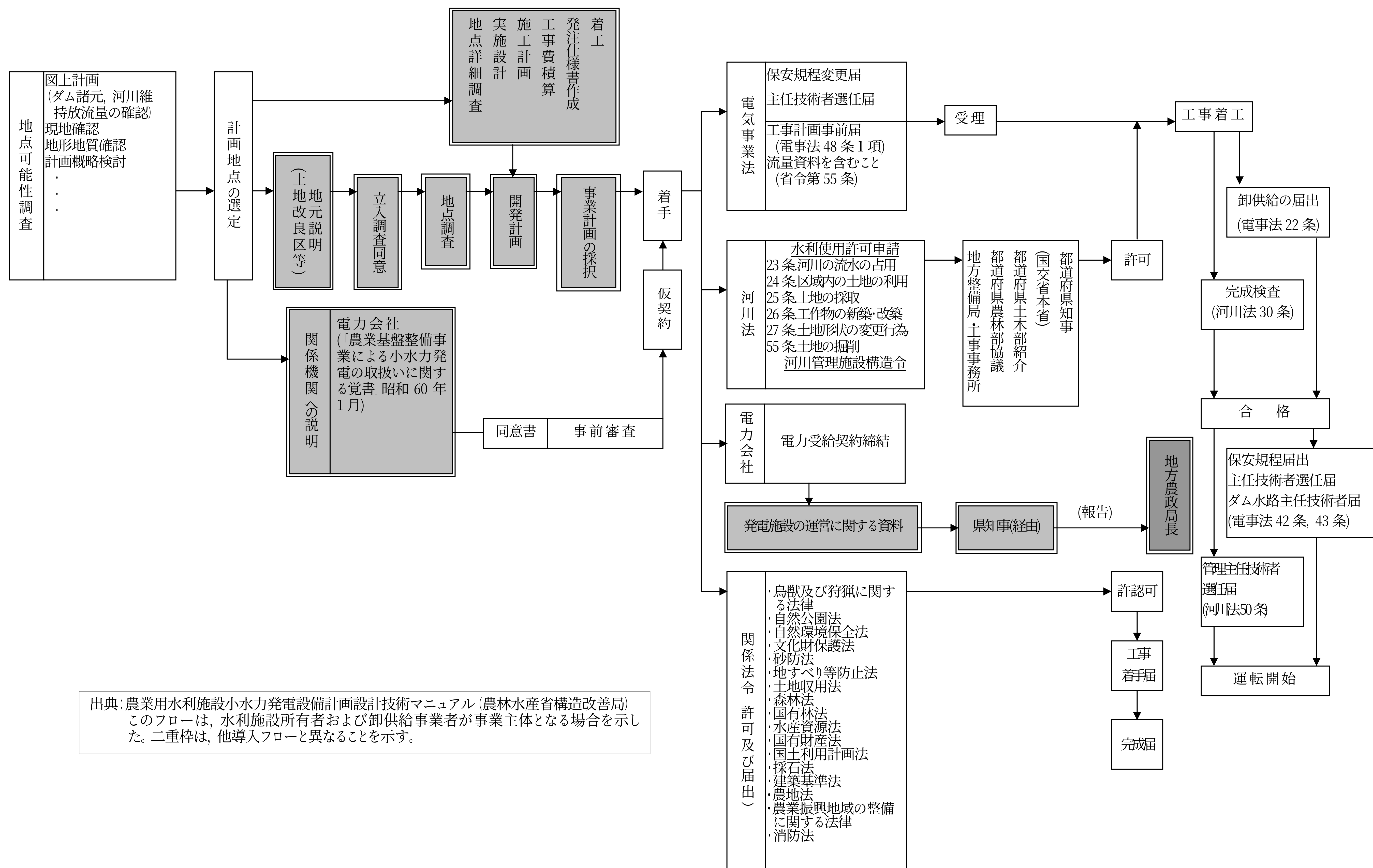
　砂防ダム利用の場合は，河川指定がなされているかの確認および砂防ダム本体の河川管理施設構造令の適合を確認する必要がある。農業水利施設利用の場合は，地元土地改良区等への説明，地方農政局への報告が必要となる。上水道施設に計画する場合は，安定供給の確認も重要である。



図IV-5.7　簡易発電システム導入フロー（発電用ダムの場合）

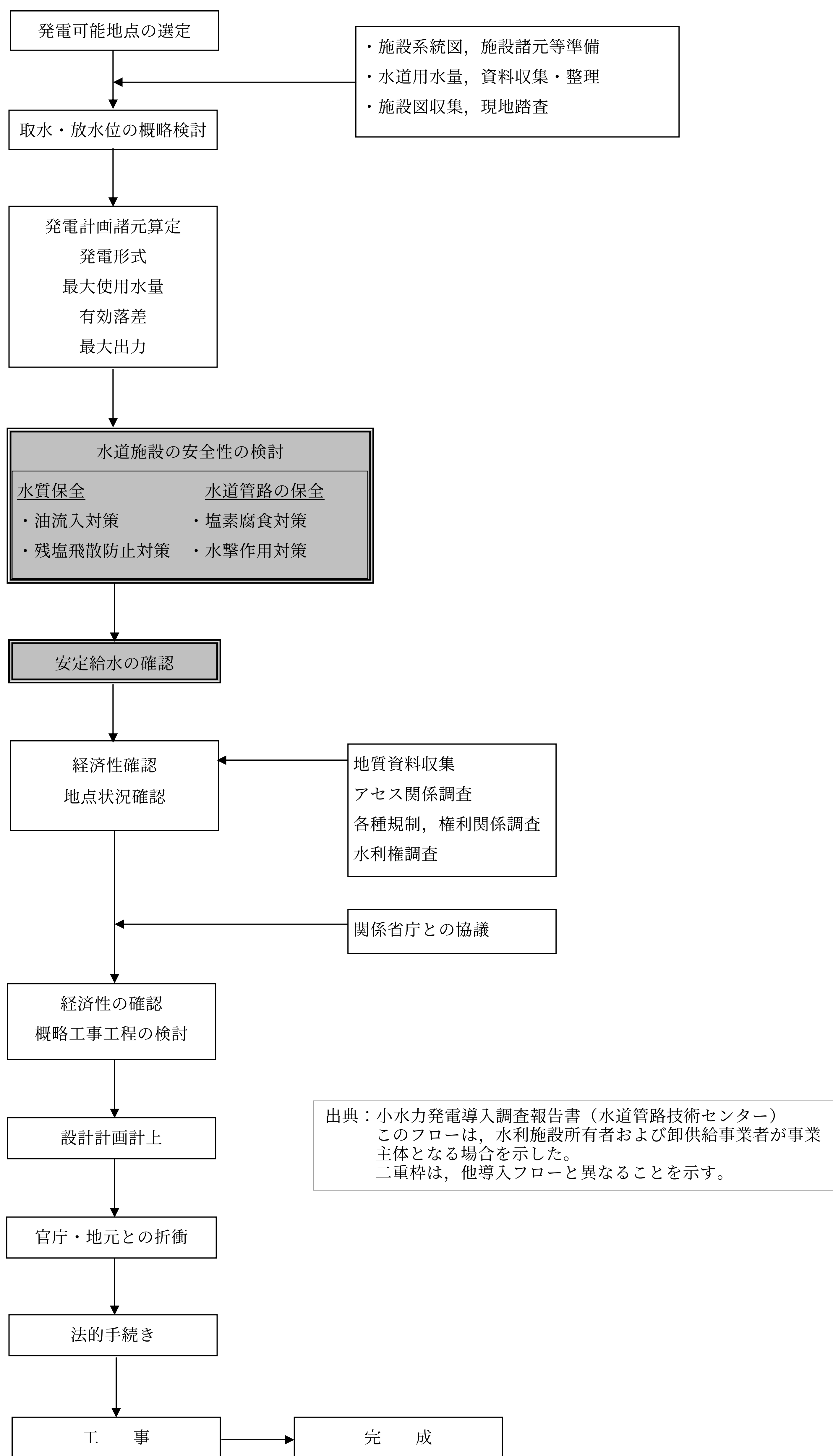


図IV-5.8　簡易発電システム導入フロー（砂防ダムの場合）



出典：農業用水利施設小水力発電設備計画設計技術マニュアル（農林水産省構造改善局）
このフローは，水利施設所有者および卸供給事業者が事業主体となる場合を示した。二重枠は，他導入フローと異なることを示す。

図IV-5.9　簡易発電システム導入フロー（農業水利施設の場合）



図Ⅳ-5.10　簡易発電システム導入フロー（上水道用水利施設の場合）

５．３　関係法令と簡易発電システムとの関わり

簡易発電システムは，流量・落差が小さく，経済性が劣る面が多い。また，出力的にも小さいものは大幅なコストダウンが求められる。 ただし，保安の観点から関係する法令・基準等の遵守が必要である。

【解説】

現状の水力発電も係る関係法令・基準等は，発電所の規模が比較的大きく，経済性の見込める地点を考慮したものとなっている。

簡易発電システムで大幅なコストダウンを実施する場合，この関係する法令・基準等が抵触することは，主要機器別に「５．１．３　機器簡素化・合理化と法令・基準等」で触れたが，電力会社，公営電気事業者および機器製作者に対して実施したアンケート調査（平成 14 年 10 月）ならびに「水力資源有効活用技術開発委員会小水力発電部会」委員に対して実施したアンケート調査（平成 14 年 12 月），平成 16 年度に実施したモニタリング調査結果に基づく，発電事業者等の意見，要望等の集約結果をここで整理した。

(1) 水圧管路用管材（水門鉄管技術基準：第 7 条「水圧鉄管の材料」）

水門鉄管技術基準では，鉄管以外に FRPM 管についての使用を認めている。この他の管材，特に樹脂管について強度上安全である場合，使用が認められればコストダウンが可能である（この点については，塩ビ管およびポリエチレン管等について，技術的性能を FRPM 管と比較し，技術基準化を検討している）。

(2) 水圧管路の管材最小板厚：（水門鉄管技術基準：第 13 条「最小板厚」）

水門鉄管技術基準では，最小板厚規定により JIS 規格管も最小板厚を 6㎜ としている。強度上安全で，施工上問題がない場合，最小板厚より薄い板厚の管材を使用することができれば，コストダウンの可能性がある。

(3) その他，アンケートおよびモニタリング調査結果での意見等は以下の通りである。

河川法	：小流量における許認可手続きの簡素化 大規模水力開発と同じ許認可申請資料の作成，ヒアリングが要求され，小出力発電設備では開発期間やコストに与える影響や負担が大きい。 また，農業用水や上下水道を利用する場合でも，発電用水として，別途許認可が必要となる。
電気事業法	：小出力発電設備の適用範囲拡大 水力発電設備は，ダム式を伴わない出力 10kW 未満で規定されているが，適用範囲の拡大（ダム式の条件を廃止または出力アップ）により普及が図れる。 モニタリング調査では，出力 9.9kW の事例が見られたが，届出手続きの省略や電気主任技術者選任の省略が主な理由とされた。

：工事計画届出書の簡素化

開発規模が小規模であり，安全や品質に直接係る影響の少ないもの，他の法令・基準等により安全や品質が確保されているものは，提出書類の簡素化又は省略を図る。

具体的には，メーカーでシリーズ化された汎用発電機や変圧器の短絡強度計算書等の省略等がある。

：ダム水路主任技術者届出の見直し

上下水道施設において減圧弁の代りやビル設備の冷却配水管の落差を利用する発電等，ダムや水路を伴わない発電設備に関しては、ダム水路主任技術者の選任を廃止しても良いのではないか。

電気設備技術基準，解釈：単独運転検出装置の省略

小出力発電設備ではコストに占める割合も大きく，モニタリング調査でも多く意見として出された。

系統状況や運用形態，系統シミュレーションの結果等から，電力協議を通じて省略できる期待はある。

：低圧連系における逆変換装置の省略

電気設備技術基準の解釈では，低圧連系の場合「逆変換装置がなく逆潮流ありでの連系不可」とあるが、交流発電機での連系を認める。

電力供給規程，約款　：特定供給範囲の適用範囲拡大

自家消費する場合でも，同一構内でなければ供給できないため，適用範囲の拡大が求められる。

その他　：中小水力開発補助　補助率アップ

簡易発電システムは出力も小さく，スケールメリットが期待できないため，開発の普及には補助金による助勢が重要なファクターとなる。

太陽光発電，風力発電と横並びの補助が期待される。

：中小水力開発補助　申請条件の見直し

この申請条件として，工事計画届出書の受理があるが工事計画書はメーカーや機器を特定しないと作成できない部分がある。この制度では，メーカー等は補助金採択後に三社見積等で決めなければならないというものがあり矛盾している。申請条件の見直しを図る。

：中小水力開発補助　10%追加補助条件の見直し

RPS 法で認定された小水力発電設備では，余剰電力を売電した場合のみ中小水力開発補助の 10%追加が適用されるが，本来の再生可能エネルギー普及促進の観点から，売電の有無に係らず適用されるべきである。

：中小水力開発補助　対象範囲の拡大

現状，補助金の対象は採択決定以降の業務に限られているため，地点調査・測量・基本計画等の業務は補助金の対象外となっている。

しかし，開発規模の小さい小水力発電でも，これらの経費は大きな割合を占めており，特に地方自治体等が独自で計画を行う場合，その資金調達が支障となり，計画そのものが実施不可能な状態となる現実がある。

このため，採択が決定したものについては，遡って補助対象とする仕組みを策定する必要がある。

：新エネルギーとして認定

小水力発電の普及が進まない現状や，その可能性を鑑み，出力 1,000kW 以下の水力発電を新エネルギーに認定し,太陽光や風力発電並みの優遇政策で普及促進を図る。

電気設備技術基準の解釈では,「低圧連系の場合，逆変換装置がなく逆潮流ありでの連系は不可」とされているが，最近，家庭用太陽光発電のインバータ技術を応用した単独運転検出技術が開発され，これを用いた「逆潮流あり」の連系が電力協議により認められたケースがある。

【解説】

低圧配電線への系統連系は，その技術要件として，電気設備技術基準の解釈（別表22）では,「逆変換装置がなく逆潮流ありでの連系は不可」と規定されている。

この背景として，交流発電機を低圧連系させる場合，逆潮流ありの条件では単独運転検出の技術が未確立な部分もあり，太陽光発電等で実績のある逆変換装置（単独運転検出機能を有するもの）を使用したものに限定したというものである。

これにより，以下のような制約が考えられる。

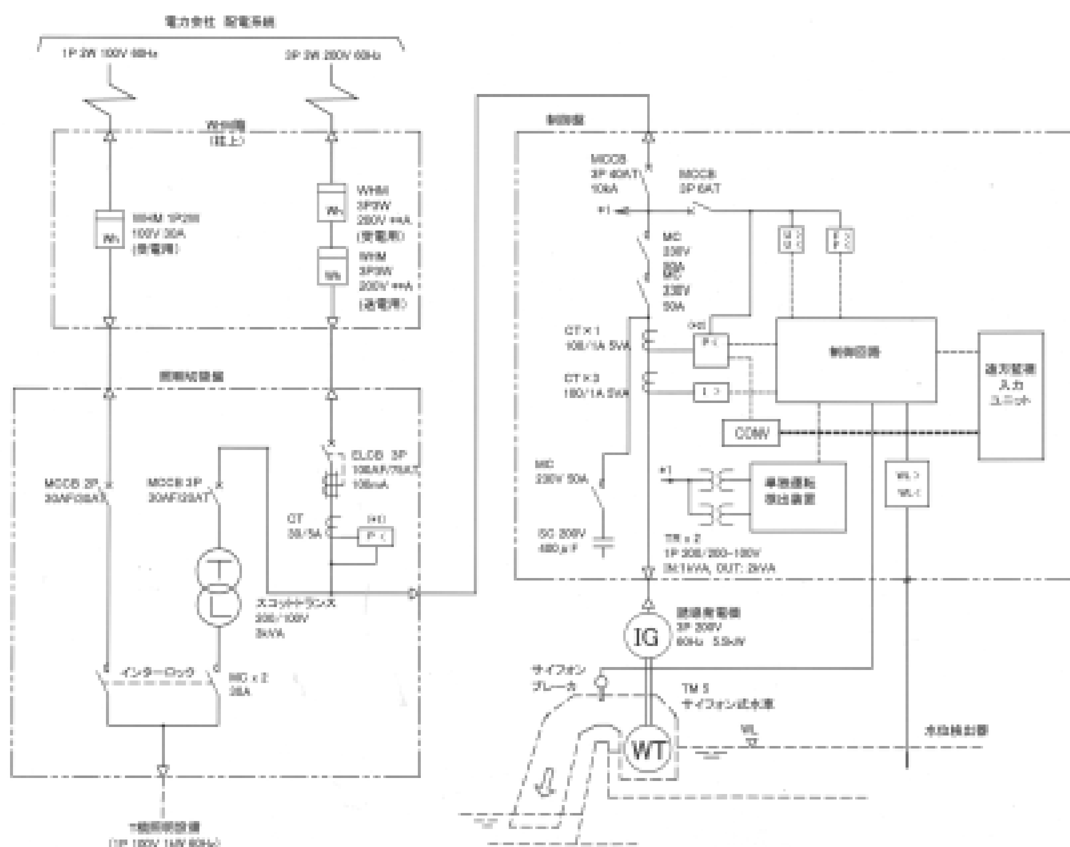
1) 逆変換装置の価格が，そのまま電気工事費に加算される。
2) 逆変換装置の容量は発電機容量に合わせて設計する必要があり，発電出力の増加に伴い，逆変換装置の価格もアップする。
3) 簡易発電システムに適用可能なサイフォン式水車（誘導発電機，起動時に受電して水車をポンプとして水を汲み上げる方式のもの）は使用できない（受電／

送電の双方向アクティブインバータを使用する方法もあるが，価格が非常に高く，実際には適用不可である）。

このような状況のもと，2005年12月にK市A水力発電所（最大出力5.5kW）では，新たに開発された低圧用の単独運転検出装置を採用したことにより，逆変換装置を用いない逆潮流ありの条件で低圧系統連系が認められ、運転を開始した。

図Ⅳ-5.11に単線結線図を示す。これが認められた条件としては，交流発電機を低圧配電線に連系する場合でも，単独運転検出機能保護が確実に検出できることが，シミュレーション等で実証された点にある。

これにより，交流発電機でも逆潮流ありの条件で系統連系できる可能性が広げられた。ただし，今後の普及への課題としては，この単独運転検出装置のコストダウンがキーポイントとなる。



図Ⅳ-5.11　K市A水力発電所（最大出力5.5kW）単線結線図

巻　末　資　料

巻末資料－１　モデル検討

巻末資料－１　モデル検討

対象 5 施設（農業用水利施設，砂防ダム，発電用ダム，上・工業用水利施設，下水道水利施設）について，モデル検討を実施した。

検討の基本方針としては，平成 14 年度に実施した簡易発電システム適用施設別の賦存量調査結果から条件を設定し，その条件に応じて簡易発電システムとしての諸設備を設計する。その設計を通して,簡易発電システムによるコストダウン方策の実現に向けた要素（コストダウンの要素）を明確にする。

モデル検討については,平成 16 年度の報告書を参照。

巻末資料－２　ケーススタディ

巻末資料－２　ケーススタディ

ケーススタディにおける目的は，これまでに実施した簡易発電システムの構築に向けた技術的検討を個別地点へ適用し，従来設計と簡易発電システムとを比較し，イニシャルコストの低減効果を確認・課題の抽出・検討及び評価を行い，簡易発電システムの構築に資することを目的とする。

調査内容は，プレ・フィージビリティ調査程度とし，発電計画にあたっては，「中小水力発電ガイドブック　新訂５版　（新エネルギー財団水力本部）」を参考とした。工事費の算出にあたっては，「未開発地点開発促進対策調査　個別地点開発計画策定調査のうち発電計画工事費積算基準　平成 12 年３月　（通商産業省資源エネルギー庁　新エネルギー財団水力本部）」を参考とした。

ケーススタディの候補地点は，これまで新エネルギー財団で調査した結果から抽出した地点と小水力発電部会の委員からの推薦による地点の中から，簡易発電システムの適用が見込まれる 6 地点を選定した。表 7.1.1 にケーススタディ候補地点を示す。

表 7.1.1　ケーススタディ候補地点

項 目	A地点	B地点	C地点	D地点	E地点	F地点
施 設 区 分	発電用ダム	発電用ダム	砂防ダム	砂防ダム	下水道	工業用水利施設 (湧水)
所 在 地	北海道	静岡県	新潟県	群馬県	岩手県	群馬県
使用可能流量 (㎥/s)	4.0 (2.0)	0.175	0.22	0.0456	0.27	0.28
総 落 差(m)	10	8	30	70	10	82
出 力(kW)	300 (150)	10	40	22	22	150
発 電 方 式	ダム式	ダム式	水路式	水路式	水路式	水路式
消 費 形 態	売電 (所内電源)	売 電	町営施設 電源	ｷｬﾝﾌﾟ場照明 売 電	場内電源	売電

ケーススタディの結果，経済性の面で在来設計より簡易発電システムの方が優れており，簡易発電システムの採用によるコストダウンの効果が確認された。

ケーススタディについては,平成 16 年度の報告書を参照。

巻末資料－３　開発事例調査（モニタリング調査）

巻末資料－３　開発事例調査（モニタリング調査）

既設および新設の小水力発電設備の適用技術および保守運転状況の調査結果，および,他分野の取水施設や圧力管路の調査結果を整理し,簡易発電システムの参考資料とした。

モニタリング調査実施地点は以下のとおりである。また，調査結果を整理して表Ⅳ-8.1にまとめた。

表IV-8.1(1) モニタリング調査　調査要素、調査地点対比表

※１；調査実施地点のうち，簡易発電システムの対象となる項目を“○”，直接ではないが,部分的（間接的）に対象となる項目を“△”で記述した。

調査要素		調査内容	調査実施地点 ※1																
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
基本諸元		運転開始［年月］	H12.3	H16.4	H11.3(1年間の試験運転)	H15.6(3年間の実証試験)	H16.4	H15.11(H16.7時点で廃止)	H11.4	H14.7	H16.4	H4.3	S63.10	H16.6	H8.4	H6.4	H10.4	H16.1	H14.4
		発電出力［kW］	9.9	66.0	3.0	5.0	22.0	8.9	510.0	4.8	1.0	840.0	95.0	61.0	780.0	520.0	68.0	180.0	85.0
		有効落差[m]	31.0	18.0	1.0	1.5～2.0	63.4	2.0	41.3	5.5	7.0	81.8	65.0	7.6	81.6	73.6	12.2	23.8	65.0
		使用水量［m^3/s］	0.050	0.500	0.600	0.3～0.5	0.046	0.660	1.640	0.150	0.150	1.340	0.220	1.030	1.230	0.900	0.810	1.000	0.185
		事業主体	一般企業	村	県・大学	一般企業	村	ＮＰＯ	電力会社	一般企業	市	県	村	県	市水道局	北九州市	北九州市	北九州市	市建設局
施設区分		農業用水利施設	---	---	○	○	---	○	---	○	---	---	○	---	---	---	---	---	---
		砂防ダム	---	○	---	---	○	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---
		発電用ダム	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	○(既設発電所水路)	---	---	---	---	---
		上・工業用水利施設	○(工業用水)	---	---	---	---	---	---	---	---	○(水道用水(浄水))	---	---	○(水道用水(原水))	○(水道用水(原水))	○(工業用水)	○(水道用水(原水))	---
		下水道水利施設	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○(処理水)
		その他	---	---	---	---	---	---	---	---	○（湧水）	---	---	---	---	---	---	---	---
土木設備	取水設備	浸透水取水方式	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		越流水付着取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		集水井方式	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		水クッション方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		横取取水方式	---	---	---	---	---	△	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		バースクリーン方式	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---
		堤体孔開け取水方式	---	---	---	---	△	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		ゲートバルブ取水方式	---	---	---	△	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		嵩上げ取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		水路落差工取水方式	---	---	○	○	---	○	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---
		既設管分岐取水方式	---	---	---	---	---	---	○	---	---	○	---	---	○	○	○	○	○
		サイフォン取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		その他	○（配水タンクからの直接取水）	○（砂防ダム建設時に取水口設置）	---	○（コンクリート製の堰の新設）	---	---	---	○（木製の堰の新設）	---	---	○（砂防ダム建設時に取水口設置）	---	---	---	---	---	---
	水圧管路	鋼管	○（SUS）	---	---	○	---	---	○	---	---	○	○	---	○	○	○	○	○（SUS）
		FRP(M)管	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---
		その他	---	---	---	---	○（ポリ管）	---	---	○（塩ビ管）	○（塩ビ管）	---	---	---	---	---	---	---	---
	発電所	基礎の合理化	---	---	○（既存の水路にそのまま設置）	○（既存の水路に鋼材を組んで簡易的な支持形式とした）	---	○（既存の水路に鋼材を組んで簡易的な支持形式とした）	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		建屋省略	---	---	○	○	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		建屋合理化	---	---	---	---	○（簡易型，天上クレーン省略）	---	○（天上クレーン省略）	○（簡易型，天上クレーン省略）	○（簡易型，天上クレーン省略）	---	---	○（簡易型，天上クレーン省略）	○（簡易型，天上クレーン省略）	---	---	---	○（既設ポンプ場内に設置）
電気・機械設備	水車	投げ込み式水車	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		サイフォン式タービン	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		立軸ペルトン水車	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		可動羽根プロペラ水車	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---
		固定羽根プロペラ水車	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		ポンプ逆転水車	○	---	---	○（軸流）	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		S型チューブラ水車	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		横軸フランシス	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		クロスフロー水車	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		水中タービン	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		開放型下掛け水車	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		簡易クロスフロー水車	---	---	---	---	---	---	---	○	○	---	---	---	---	---	---	---	---
	発電機	永久磁石発電機	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		誘導発電機	---	---	---	---	---	○	○	○	---	---	---	○	---	---	○	○	○
	制御・保護装置	パワーコンディショナ盤	---	---	---	○	△(太陽光発電用)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	△(単独運転検出装置)
		簡易通報装置	---	○	---	○	---	---	---	---	---	○（遠隔常時監視）	○（随時監視）	○	---	---	---	---	---
	系統関係	系統連系	○（低圧構内）	○（高圧）	---	---	○（低圧）	---	○（高圧）	○（低圧）	---	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧構内）	○（高圧）
		逆潮流	---	○	---	---	○	---	○	○	---	○	---	○	○	○	---	---	○
	機器簡素化	ダミーロード・ガバナ	○	---	○	---	○	---	---	---	○	---	---	○	---	---	---	---	---
		入口弁	---	○（重錘閉鎖）	---	---	○（手動）	---	---	○（手動）	○（手動）	---	---	---	---	---	---	---	---
		ＧＶ・ニードル	---	○（電動）	○（手動）	---	○（手動）	---	○（電動,重錘閉鎖）	○（電動）	---	○（スピーダーレスガバナ）	○	---	---	---	---	---	---
		屋外設置	---	---	○	○	---	○	---	---	---	---	---	○（盤関係）	---	---	---	---	---
		その他設備	○（水位計）	---	○（水位計）	○（水位計）	○（水位計）	○（水位計）	○（上屋、クレーン）	---	○（水位計）	○（側路弁）	---	---	---	---	---	---	---
	保守・運用	実際の対応状況等	○	○	○(廃止)	○	○	○(廃止)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	その他	一般用電気工作物	○	---	○	○	---	○	---	○	○	---	---	---	---	---	---	---	---
		余剰電力売電	---	○	---	---	○	---	○	○	---	○	---	---	○	○	---	---	○
		海外製品適用	---	---	---	---	○	○	---	○	○	---	---	---	---	---	---	---	---
問題点等	河川法	水利権取得	---	○	○	○	---	○	○	---	---	○	---	○	○	○	○	○	---
		工作物申請	---	○	---	---	---	---	○	---	---	---	○	---	---	---	---	---	---
	電気事業法		---	○	---	---	○	---	○	---	---	○	○	○	○	○	○	○	○
	電力交渉		---	○	---	---	○	---	---	---	---	○	○（売電協議中）	○	○	○	○	---	○
	その他交渉事項		○（騒音対策）	---	○（水路管理者との協議）	○（水路管理者との協議）	○（漁協との協議）	○（水路管理者との協議）	---	○（水路管理者との協議）	○（湧水管理者との協議）	---	---	---	---	---	---	---	---
各種補助		調査・計画段階	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		建設段階(NEDO以外)	---	○（農林水産省）	---	---	○(林野庁及び県)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○(国交省)
		起債・借入関係	---	○(過疎債)	---	---	---	---	---	---	---	○	○	○	○	○	○	○	---
要望事項			○	○	○	○	○	○	---	○	○	○	○（売電協議中）	○	○	○	○	---	---

表IV-8.1(2)　モニタリング調査　調査要素、調査地点対比表

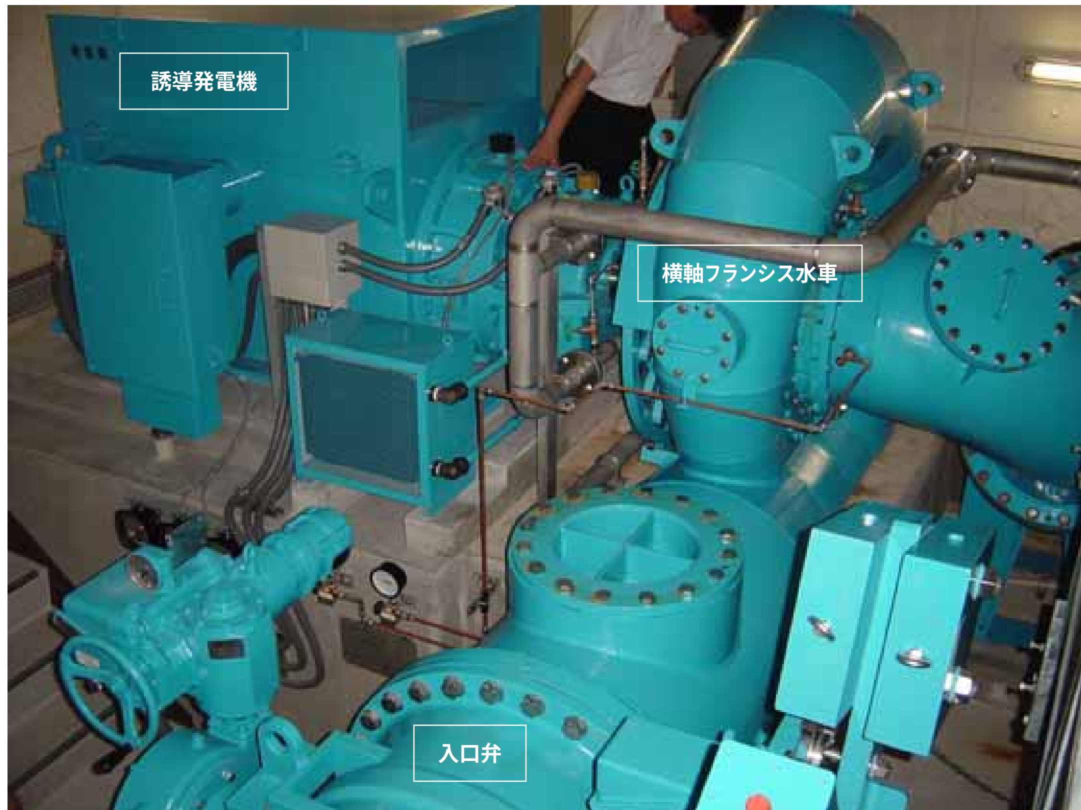
※1；調査実施地点のうち，簡易発電システムの対象となる項目を“○”，直接ではないが,部分的（間接的）に対象となる項目を“△”で記述した。

調査要素		調査内容	調査実施地点 ※1														該当
			R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
基本諸元		運転開始［年月］	S61.7	S60.7	S54.9(通水開始)	S29.9	H15.4	S39.8(H14更新)	H16	H15.2	H17.5	H16.7	H15.6	H17.10	H18.2	H18	
		発電出力［kW］	3,200.0	12,700.0	---	95.0	770.0	150.0	341.0	38.0	190.0	132.0	250.0	20.0	---	---	
		有効落差[m]	143.0	292.2	---	25.7	19.0	13.3	30.4	21.0	14.4	16.4	28.7	2.0	---	---	
		使用水量［m^3/s］	2.800	5.200	7.300	0.500	5.000	1.500	1.300	0.222	2.000	1.060	1.200	2.000	---	---	
		事業主体	電力会社	電力会社	法人	農協	町	農協	県	県	町	民間	電力会社	市	市	国	
施設区分		農業用水利施設	---	---	---	○	---	○	---	---	---	○	---	---	---	○	9
		砂防ダム	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	4
		発電用ダム	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2
		上・工業用水利施設	---	---	---	---	---	---	○(水道用水(中間処理水))	○(水道用水(処理水))	---	---	---	---	○	---	9
		下水道水利施設	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
		その他	○	○	○	---	○	---	---	---	---	---	○(既設注水工)	○(既設水路)	---	---	7
土木設備	取水設備	浸透水取水方式	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2
		越流水付着取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0
		集水井方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
		水クッション方式	---	○	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2
		横取取水方式	---	---	---	○	○	○	---	---	---	○	---	---	---	---	5
		バースクリーン方式	○	---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3
		堤体孔開け取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	---	---	---	2
		ゲートバルブ取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
		嵩上げ取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0
		水路落差工取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○	---	---	5
		既設管分岐取水方式	---	---	---	---	---	---	○	○	---	---	---	---	---	---	9
		サイフォン取水方式	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0
		その他	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	○(既設取水口利用)	---	---	---	6
	水圧管路	鋼管	---	---		○	---	---	○	○	○	○	○（STPY)	---	---	---	15
		FRP(M)管	---	---		---	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3
		その他	---	---		---	---	○（RC)	---	---	---	---	---	---	ポリ管	リブ管	6
	発電所	基礎の合理化	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---			3
		建屋省略	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---			3
		建屋合理化	---	---		○（簡易型，天上クレーン省略）	---	○（簡易型，天上クレーン省略）	○（既設ポンプ室内）	○（既設ポンプ場内）	○（天上クレーン省略）	---	○（簡易型）	○（省略）			14
電気・機械設備	水車	投げ込み式水車				---	---	---	---	---	---	---	---	---			1
		サイフォン式タービン				---	---	---	---	---	---	---	---	---			1
		立軸ペルトン水車				---	---	---	---	---	---	---	---	---			1
		可動羽根プロペラ水車				---	---	---	---	---	---	---	---	---			1
		固定羽根プロペラ水車				---	---	---	---	○	---	---	---	---			1
		ポンプ逆転水車				---	---	---	---	---	---	---	---	---			2
		S型チューブラ水車				---	○	---	---	---	---	---	---	---			1
		横軸フランシス				○	---	---	○	---	---	○	---	---			2
		クロスフロー水車				---	---	---	---	---	○	---	○	---			2
		水中タービン				---	---	○	---	---	---	---	---	---			1
		開放型下掛け水車				---	---	---	---	---	---	---	---	○			1
		簡易クロスフロー水車				---	---	---	---	---	---	---	---	---			2
	発電機	永久磁石発電機				---	---	---	---	---	---	---	---	○			2
		誘導発電機				○	---	○（水車一体型)	○	○（水車一体型)	○	○	○	---			14
	制御・保護装置	パワーコンディショナ盤				---	---	---	---	---	---	---	---	---			3
		簡易通報装置				○（常時監視）	○（随時監視）	○	---	---	---	遠隔監視（一般公衆回線）	---	---			9
	系統関係	系統連系				○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（特高）	○（高圧）	○（高圧）	○（高圧）	○（低圧）			22
		逆潮流				○	○	○	---	---(みなし連系)	○	○	○	○			16
	機器簡素化	ダミーロード・ガバナ				---	---	---	---	---	---	---	---	---			5
		入口弁				---	---	---	---	---	---	---	---	---			4
		ＧＶ・ニードル				---	---	---	---	---	---	---	---	---			7
		屋外設置				---	---	○（盤関係）	---	---	---	---	---	---			4
		その他設備				---	---	---	---	---	---	---	---	---			7
	保守・運用	実際の対応状況等				○(3交代常駐)	○	○	○	○	○	○	○	○			26
	その他	一般用電気工作物				---	---	---	---	---	---	---	---	---			6
		余剰電力売電				○(全量売電)	○(全量売電)	○(全量売電)	---	---	○	○	---	○			14
		海外製品適用				---	○	---	---	---	---	○	○	○			8
問題点等	河川法	水利権取得	○	○	○	○	○	○	---	---	○	○	○	---			20
		工作物申請	○	○	○	○	○	○	---	---	○	---	---	---			10
	電気事業法		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			22
	電力交渉		---	---		○	○	○	---	○	○	○	---	○			16
	その他交渉事項		---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---			7
各種補助		調査・計画段階	---	---		---	○(NEF指導)	---	---	---	○(NEFハイドロ・指導)	---	---	---			2
		建設段階(NEDO以外)	---	---		○	○(農水省)	○	○(厚生省)	(研究設備)	---	---	---	---			8
		起債・借入関係	---	---		○	○	○	---	---	○	---	---	○(市民ミニ公募債)			13
要望事項			---	---		---	---	---	---	---	○	○	---	---			16

ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		西原小水力発電設備
所在地		沖縄県西原町小那覇
設備区分		浄水原水調整池
河川水系		水源:喜仲調整池～西原調整池間原水 水利権:ー、取水量1.1～1.7m3/s
事業者		沖縄県企業局西原浄水管理事務所
運転開始	年月日	平成16年-月
有効落差	m	30.4
最大使用水量	m^3/s	1.3
最大出力	kW	341
年間発生電力量	kWh	207,800/月 (平成17年8月実績) 、平均出力279kW
電気工作物区分		自家用
系統連系、潮流		3.3kV高圧連系、逆潮流なし
用途		自家消費
水車型式		横軸ﾌﾗﾝｼｽ水車 (富士電機ｼｽﾃﾑｽﾞ)
水車出力	kW	328
回転速度	min^{-1}	910 (無拘束速度1.800)
発電機型式		横軸誘導発電機 (富士電機ｼｽﾃﾑｽﾞ)
発電機出力	kW	341 (調査時出力260kWに対して無効-80kVar程度であったので力率0.95程度)
発電機電圧	V	3300、60Hz
回転速度	min^{-1}	910
制御･保護装置		発電機･保護盤 発電機並列による系統動揺を防止するｿﾌﾄｽﾀｰﾄ回路内蔵
監視装置･方法		遠隔常時監視制御 (西原浄水場)
運用･保守		西原浄水場職員による巡視点検1回/月実施 初回点検は今後計画する予定 単独運転検出機能なし、電力協議により逆潮流防止用の電力継電器を設置 電気主任技術者、ﾀﾞﾑ主任技術者は職員で対応 ﾄﾗﾌﾞﾙ事例なし
特記事項		構内負荷補完、節減率約13% 誘導発電機、重錘閉鎖式入口弁の採用 水車ﾊﾞｲﾊﾟｽ管あり (余水調整機能なし) 遊休落差の有効利用 従来方式=減勢弁によるｴﾈﾙｷﾞｰ調整→有効な代替案=小水力発電

西原小水力発電設備（沖縄県）　1／4



水車発電機外観（入口弁側より）



水車銘板



発電機銘板

西原小水力発電設備（沖縄県）　2／4



入口弁外観（重錘閉鎖式）


同左



出口弁外観


ガイドベーンリンク機構


水車バイパス弁外観


放水口（西原調整池）

西原小水力発電設備（沖縄県）　3／4



発電所建屋外観（西原調整池側より）



同左



配電盤（タッチパネル式）

西原小水力発電設備（沖縄県）　4／4



減勢弁、電磁流量計（水車及び西原調整池入口）



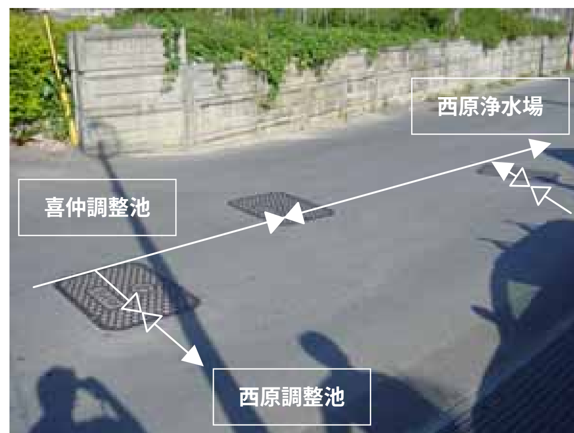
同左減勢弁外観



緊急遮断弁（西原調整池出口）

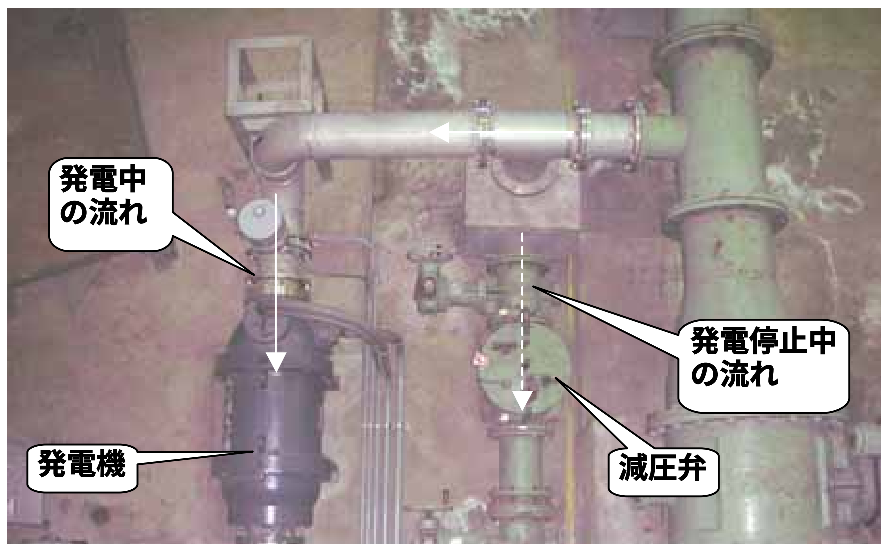


西原調整池外観



ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		庄和浄水場内　小水力発電所
所在地		埼玉県春日部市新宿新田
設備区分		場内管路未利用圧力（減圧弁接地箇所）
河川水系		-----
事業者		埼玉県企業局
運転開始	年月日	平成15年2月
有効落差	m	21.0
最大使用水量	m^3/s	0.222（浄水場の運用に完全従属）
最大出力	kW	38
年間発生電力量	kWh	258,000
電気工作物区分		自家用
系統連系、潮流		60kV特別高圧連系、逆潮流なし（みなし連系）
用途		自家消費
水車型式		インライン型プロペラ水車（クボタ）
水車出力	kW	---
回転速度	min^{-1}	---
発電機型式		誘導発電機
発電機出力	kW	45
発電機電圧	V	---
回転速度	min^{-1}	---
制御･保護装置		UVR、OVR、OCR、RPR、UFR、OFR
監視装置･方法		遠隔常時監視制御（故障時警報、操作は機側のみ）
運用･保守		運開7ヶ月後の分解点検で異常なし。 日常（目視）、月例点検は職員、定期点検（年）はﾒｰｶｰ委託 水車発電機停止時は自動的に既往ライン（減勢弁）に切り替わる。流水の途絶はなし。
特記事項		電気主任技術者、ﾀﾞﾑ主任技術者は職員で対応 保安規定は県の水道施設用の規定に小水力発電を追記。 浄水場全体のシステム変更は行わず、出力等の記録は発電機制御盤に接続した専用PCで対応。 ﾄﾗﾌﾞﾙ事例なし 水車･発電機一体型設備の導入。分解不要のグリス注入口あり。 水車ﾊﾞｲﾊﾟｽ管あり（流量調整機能なし） 従来方式=減勢弁によるｴﾈﾙｷﾞｰ調整→有効な代替案=小水力発電 (財)水道技術研究センターによる水道施設へのフィールド試験として約2年間の実証試験を実施。水質、浄水場の運用に影響を与えないことを確認。 浄水場の運用に完全従属の運転。基本的に定落差定容量。稼働率99%。 従来の減圧弁に比べて新設水車発電機の騒音は低減。 従来方式=減勢弁によるｴﾈﾙｷﾞｰ調整→有効な代替案=小水力発電



No 1

基本的なライン。
もともとは右側の減圧弁を通るルートだったが、左側にバイパス管を設け、そこに水車発電機を設置。



No 2

水車発電機の全景。
発電機は内蔵されている。



No 3

本官からの分岐状況。
分岐管から手前側が新設部。
水車の上流側にあるのは入り弁で、次の写真に見られる減圧弁側の制水弁と連動する。



No 4

水車出口側の合流管。減圧弁側に制水弁が設置されている。



No 5

既設減圧弁。水車発電機が運転しないとき、制水弁の作動に応じて自動的に稼動する。設置後30年が経過。水車発電機に比べて大きな音が発生する。



No 6

システム遠景。中央やや右は、発電機の制御盤。

ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		清和発電所
所在地		熊本県上益城郡山都町
設備区分		砂防ﾀﾞﾑ
河川水系		水源:緑川水系緑川(一級河川) 水利権:山都町
事業者		山都町
運転開始	年月日	平成17年5月
有効落差	m	14.38
最大使用水量	m^3/s	2.0
最大出力	kW	190
年間発生電力量	kWh	952,000
電気工作物区分		自家用
系統連系、潮流		6.6kV高圧連系、逆潮流あり
用途		売電 (九州電力)
水車型式		ｸﾛｽﾌﾛｰ水車(田中水力)、ｷﾞﾔ増速 (石川島精機)
水車出力	kW	217
回転速度	min^{-1}	220
発電機型式		誘導発電機(TATUNG：台湾製)
発電機出力	kW	190
発電機電圧	V	400、60Hz
回転速度	min^{-1}	720
制御･保護装置		監視制御盤(田中水力)、単独運転検出装置(三英社) 直流電源装置、系統連系設備
監視装置･方法		随時巡回、遠方監視(役場)
運用･保守		電気保安協会に委託(巡視点検2回/月) 1回/日役場職員が巡視、ｽｸﾘｰﾝ除塵を実施 機器点検計画は今後の検討事項 来年度から田中水力と保守契約を結ぶ予定 落葉によるｽｸﾘｰﾝでの塵詰りが多く、設備稼働率は低い 分割GVを採用しているが手動操作(季節切替運用を考慮)、開度固定運用 入口弁は直流電源による操作で重錘がなく、直流電源喪失時に流水遮断不可 故障時は電気保安協会、田中水力で対応
特記事項		NEFﾊｲﾄﾞﾛﾊﾞﾚｰ事業第1号機 落葉塵詰りが多いが除塵機の設置なし、人力による除去 取水方式について設計の妥当性評価が必要(集水機能不足) 超音波流量計による流量測定を実施 監視制御盤はﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ式操作(状態監視、警報要素も集約) 結露対策、所内排水対策が必要 設備稼働率向上のための施策が必要(意見を求め検討中) 主たるPRは実施していない

清和発電所　現地写真（1/2）

	① 砂防堰堤遠景及び管理用道路（導水路埋設） 導水路：ヒューム管φ1500		⑤ ヘッドタンク及び水圧管路
	② 取水口スクリーン スクリーン、バーピッチ 50㎜		⑥ ヘッドタンク排砂ゲート 排砂ゲート：h=0.50m、b=0.50m（解放中）
	③ 砂防堰堤堤体貫通部 貫通部形状：h=1.50m、b=1.60m		⑦ ヘッドタンクスクリーン スクリーン、バーピッチ 30㎜ （落葉付着によりスクリーン前後での水位差 10㎝ 程度あり）
	④ 取水路及び維持流量放流管 維持流量放流管：φ300		⑧ ヘッドタンクスクリーン （付着した落葉除去の様子）

清和発電所　現地写真（2/2）

⑨ **水圧管路及び余水路**

水圧管路：鋼管 STPY φ1000

余水路　：ヒューム管φ1200

⑩ **発電所全景**

⑪ **発電所内**

⑫ **クロスフロー水車及び増速機**

⑬ **発電機**

発電機：横軸かご型三相誘導発電機

⑭ **配電盤**

⑮ **放水口**

⑯ **売電用計器**

ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		山一水力発電所
所在地		山梨県富士吉田市
設備区分		農業用水
河川水系		水源:相模川水系桂川　暮地用水路 水利権:協議中
事業者		山一産業（紡績会社）
運転開始	年月日	平成16年7月
有効落差	m	16.43
最大使用水量	m^3/s	1.06
最大出力	kW	132
年間発生電力量	kWh	-
電気工作物区分		自家用
系統連系、潮流		6.6kV高圧連系、逆潮流あり
用途		自家消費+余剰売電（東京電力）
水車型式		横軸ﾌﾗﾝｼｽ水車（ﾏｰﾍﾞﾙ：ﾁｪｺ製）
水車出力	kW	139
回転速度	min^{-1}	762
発電機型式		横軸誘導発電機（ｼｰﾒﾝｽ：ﾄﾞｲﾂ製）
発電機出力	kW	132
発電機電圧	V	400、50Hz
回転速度	min^{-1}	760
制御・保護装置		発電機・保護盤 系統連系盤（単独運転検出装置、昇圧装置、開閉器）は日立製
監視装置・方法		随時巡回、遠隔監視（一般公衆回線：ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰ）
運用・保守		自社対応、ひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰによるﾒﾝﾃﾅﾝｽｻﾎﾟｰﾄ体制 設備は自社敷地内であり、巡視点検は必要の都度実施（直営） 一般公衆回線を利用した遠隔監視ｼｽﾃﾑを導入 発電機温度上昇対策として、水車とのｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ部に空冷ﾌｨﾝを追加取付け 大きなﾄﾗﾌﾞﾙ事例なし
特記事項		敷地内別施設へも売電（敷地内であり自家消費の扱い） GV及び入口弁（重錘閉鎖機能あり）は油圧操作、圧油装置併設 取水部にﾏｰﾍﾞﾙ製の除塵装置を設置 電気設備は4代目、3代目は中電中古品（電業社製）を70年間使用

山一水力発電所（山梨県富士吉田市）　1／3



水車発電機外観



同上、ドラフト外観



同上、入口弁外観

<u>**山一水力発電所（山梨県富士吉田市）　2／3**</u>



水車銘板



発電機銘板



制御･保護盤（マーベル製）外観



系統連系盤（日立製）外観



発電所外観（上流側より見る）



放水路（放水状況）

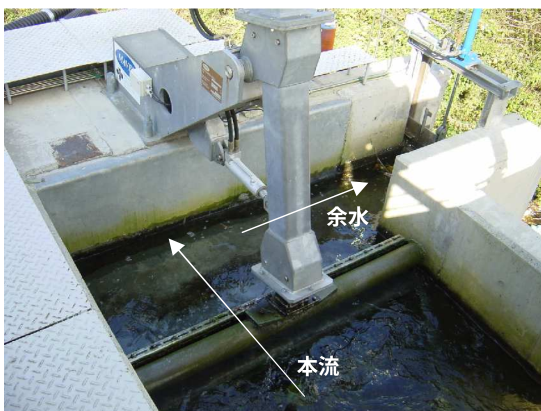
山一水力発電所（山梨県富士吉田市）　3／3



ヘッドタンク外観



同左、上流側より見る



同上、除塵装置



取水口スクリーン、塵付着状況



導水路（取水口からヘッドタンクを見る）



旧水車発電機（70年間使用）

ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		易老沢発電所
所在地		長野県下伊那郡南信濃村
設備区分		堰堤注水路、未利用落差
河川水系		水源:天竜川水系　易老沢 水利権:中部電力㈱
事業者		中部電力㈱
運転開始	年月日	平成15年6月
有効落差	m	28.7
最大使用水量	m^3/s	1.2 (最低0.2)
最大出力	kW	250
年間発生電力量	kWh	約1,700,000(運転開始から2.5年間)
電気工作物区分		事業用
系統連系、潮流		6.6kV高圧連系、北又渡発電所経由で送電
用途		事業用(電力供給)
水車型式		ｸﾛｽﾌﾛｰ水車(ｵｽﾞﾊﾞｰｶﾞｰ：ﾄﾞｲﾂ製)、ｷﾞﾔ増速 (ﾌﾚﾝﾀﾞｰ：ﾄﾞｲﾂ製)
水車出力	kW	276
回転速度	min^{-1}	408.0
発電機型式		誘導発電機 (ﾛｰﾊｰ：ﾄﾞｲﾂ製)
発電機出力	kW	250
発電機電圧	V	440、60Hz
回転速度	min^{-1}	1,207
制御･保護装置		水制盤 (ｵｽﾞﾊﾞｰｶﾞｰ：ﾄﾞｲﾂ製) 、水車制御は応水自動制御 主配電盤(ｼｰﾃｯｸ) 突入電流抑制装置(ｳｲﾝﾄﾞﾊﾟﾜｰ製：田中水力経由)
監視装置･方法		随時巡回(頻度：1回/2ヶ月)
運用･保守		巡視点検･記録は中部電力㈱直営、補修等はｼｰﾃｯｸへ請負 運転開始後1年目に抜水点検実施、水車廻りに異常なし 予備品の保有なし、自動蓄積ﾃﾞｰﾀ(記録計等)なし 普通点検3年周期、細密点検(OH)は平成33年頃を予定 運転/停止及び警報のみ遠方監視、運転操作は現地のみ 冬期間の入構困難(周囲の積雪20～30cm程度) ﾎｲｽﾄｸﾚｰﾝなし、機器搬入出が伴う場合は仮設備が必要
特記事項		北又渡発電所の易老沢堰堤から遠山川堰堤への注水路における未利用落差 入口弁、水車、増速機、圧油装置、水制盤、発電機は海外調達 海外調達は国際競争入札(海外1社、国内2社の計3社) 水車は分割GV方式、応水自動制御 主配電盤、系統連系設備(変圧器は愛知電機)は国内調達 風力発電で実績のあるｻｲﾘｽﾀﾌﾞﾛｯｸによる突入電流抑制装置を具備 保証事項は最大出力、最大水圧、無拘束速度のみ 海外ﾒｰｶｰの対応は良好、特にﾄﾗﾌﾞﾙ等なし 受領できた図書は外形図、取扱説明書のみ(発電機はｶﾀﾛｸﾞﾍﾞｰｽ) 機器据付はｼｰﾃｯｸ、据付･試験時のﾒｰｶｰ指導員なし 汎用車庫を利用した発電所上屋 RPS認定発電所

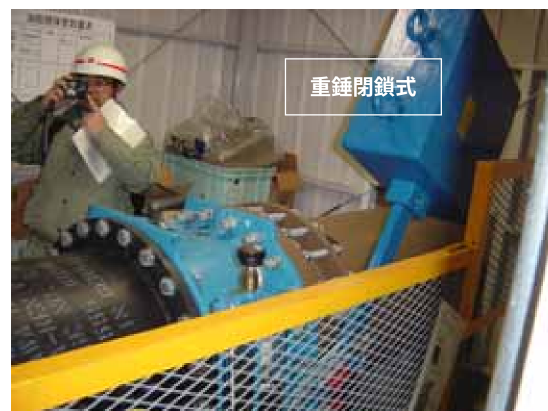
易老沢発電所（長野県南信濃村）　1／4



クロスフロー水車（オズバーガー製）外観



分割ＧＶ（1／3）



入口弁外観

易老沢発電所（長野県南信濃村）　2／4



入口弁油圧操作部



増速機、圧油装置



増速機（フレンダー製）、誘導発電機（ローハー製）外観

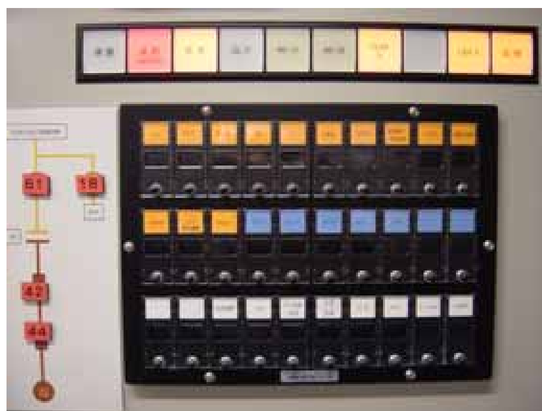
易老沢発電所（長野県南信濃村） 3／4



水制盤、主配電盤



系統連系設備（変圧器）



主配電盤（30S、30F）



突入電流抑制装置



水車銘板



増速機銘板

易老沢発電所（長野県南信濃村）　4／4



発電機銘板



水圧鉄管銘板



水圧鉄管（発電所付近）



水圧鉄管全景



発電所上屋



発電所全景（対岸より）

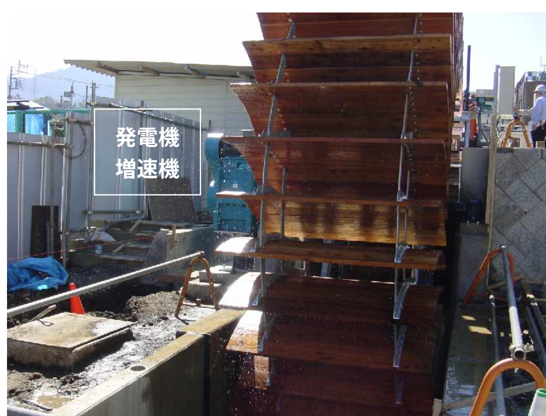
ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査票

項　目	単位	内容、記事
設備名称		都留市民発電所
所在地		山梨県都留市
設備区分		防火用水
河川水系		水源:相模川水系桂川　家中川 水利権:都留市管理河川
事業者		都留市
運転開始	年月日	平成17年10月（試運転開始）
有効落差	m	2.0（最大）
最大使用水量	m^3/s	2.0（常時0.77）
最大出力	kW	20.0（常時8.9）
年間発生電力量	kWh	108,300
電気工作物区分		自家用
系統連系、潮流		400V低圧連系、逆潮流あり
用途		自家消費+余剰売電（東京電力）
水車型式		下掛水車、ｷﾞﾔ及びﾍﾞﾙﾄ増速（ﾊｲﾄﾞﾛﾜｯﾄ：ﾄﾞｲﾂ製）
水車出力	kW	23
回転速度	min^{-1}	4.3
発電機型式		永久磁石発電機+INV（東洋電機製造）
発電機出力	kW	22
発電機電圧	V	200、50Hz
回転速度	min^{-1}	1,200
制御・保護装置		INV盤（発電機・保護盤）、運転監視盤（日立） 水制盤（ﾊｲﾄﾞﾛﾜｯﾄ）、本流ｹﾞｰﾄ制御盤
監視装置・方法		随時巡回
運用・保守		電気保安協会に委託、ダム水路は職員で対応 現在試運転中 点検計画は今後の検討事項 生活塵多く、除塵装置を設置（6h周期動作、動作時主機停止） 本流ｹﾞｰﾄを利用した逆洗式除塵装置（NEDO新技術補助対象）
特記事項		小水力発電啓蒙活動、教育が主たる目的（ｱﾋﾟｰﾙ度が高い開放水車を採用） 可変速対応として永久磁石発電機+INVｼｽﾃﾑを導入 本計画はひまわりﾆｭｰｴﾈﾙｷﾞｰが提案、地元業者による設計・施工 家中川は昭和28年まで出力70kWの水力発電所あり 家中川は信州大学によるﾐﾆ水力発電実験装置が3箇所あり（数10～100kW）

都留市民発電所（山梨県都留市）　1／3



下掛水車外観（ハイドロワット製）



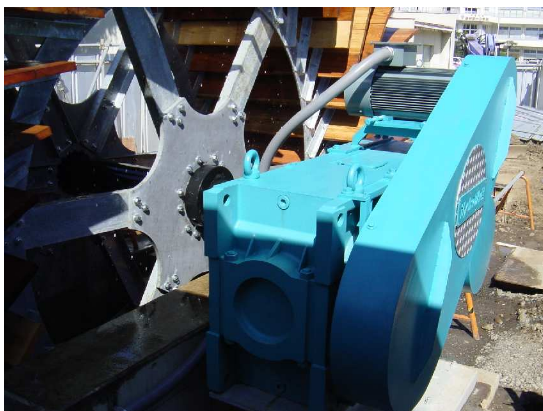
同上、下流側より見る



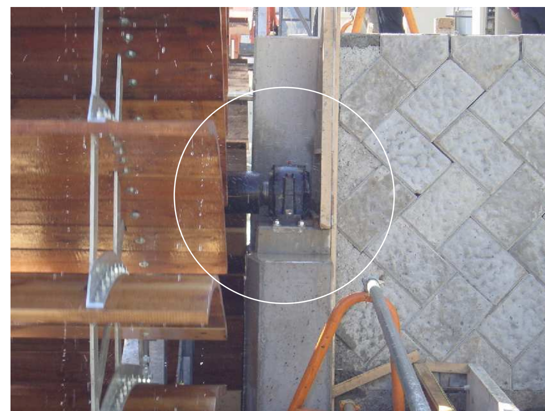
同上、上流側より見る



永久磁石発電機、増速機（ギヤ、ベルト）



同上、上流側より見る

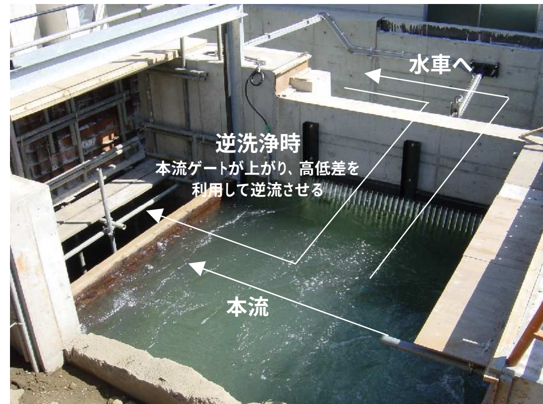


主軸軸受（反発電機側）

都留市民発電所（山梨県都留市）　3／3



各制御盤外観（屋外仕様）



本流ゲート、取水口スクリーン



同上、発電機盤内部構成



（参考）信州大学実験設備

静岡市　水道局　ポリエチレン管施工現場　ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査結果整理票

[土木設備（水圧管路）のみを対象に調査を実施]

項　目	単位	内容、記事
[基本事項]		
設備名称		静岡市　藁科第一配水場　場内送配水管敷設工事
所在地		静岡県　静岡市
設備区分		水道用水　送･配水管
事業者		静岡県　静岡市　企業局
通水開始	年月日	平成１8年2月
[土木設備]		
管種		ポリエチレン管
管径	mm	300×3本，200×1本
延長	m	500（程度）
選定理由等	選定理由	①経済性（ダク管との比較） ②施工性（急峻な地形に対応可能） ③施工スピード（工期内に完成） ④曲線配管が可能
	メンテナンス	基本的にメンテナンスフリー
	利点	①粗度係数が小さいため，ロスを小さく押さえられる。 ②軽い ③弾性係数が小さいため水撃圧が小さくてすむ ④狭い間隔の中に布設可能
	品質管理	①水道協会の認定が契約時の条件。現場にて水道協会の認定印があることを確認。 ②融着後にビード（圧着部の盛上り）の大きさの計測で，溶接具合を把握。 ③継手に対して，現場気密試験を実施。
	その他	①施工性の良い，まっすぐで平らな区間であれば，ポリ管の経済性は低下する。 ②万が一の漏水に備えて，対応機材を用意している（水道で通常使用するもの）。



No 1

　ポリ管融着（継手接合）作業状況。
　既設トンネル内にφ300ポリエチレン管を付設中。



No 2

　融着前の状況。
　この管は、白いポリエチレン管の周りをガラス繊維で補強（半透明のビニール状の層）し、さらにその外側を黒い保護層で覆ったもの。
　一般的な管（補強層のないもの）では、ポリエチレン管自体に紫外線対策のカーボンを混入させるため、管自体が黒くなる。



No 3

　融着機材の設置。両端部の接合面を”面取り（カット）”するためのカッターが装着済み。



No 4

装着機材に片一方の端部をセットしている状況。



No 5

もう一方の端部をセットする。



No 6

両方の端部の”心だし”の状況。上下左右が合うように微調整を繰り返す。

人の感覚による、最も難しい作業。



No 7

同上。接合部、逆の端部、クレーン作業員の3人の呼吸を合わせて、”心だし”を行う。



No 8

セット（心だし）完了後、両端部を固定する。



No 9

セット完了。このあと、流端部の接合面を整形する”面取り”の作業に移る。



No 10

面取り作業中。両端部をゆっくり押し付けながら、2枚のカッターで端面を削っていく。切かすの状況で、端部の状況を推定する。写真中央のように、切かすが丸まって出てくる状況では、まだ不十分。



No 11

切カスが丸まらないで出てきている状況。この状況で、面取りは完了。



No 12

両端部を専用のウエスで清掃中。



No 13

装着機材からカッターを外し、代わりに融着用の熱板（アイロン）を装着したところ。熱板は管上部の熱源部で熱せられ、一定温度に達したところで、管両端部の間に引き落とし、両端の管を熱板に押し付け、両端部を溶融させる。



No 14

一定時間両端部を溶融させた後、熱板を引き上げ、即座に両端部を圧接させる。



No 15

圧接状態を一定時間継続させ、両端部を徐々に冷却させる。



No 16

管両端部の圧力や融着、冷却時間をコントロールする機械の表示板。現在、冷却中。



No 17

冷却完了後、装着機材の取り外し。



No 18

装着機材取り外し中。接合部が一体化している。



No 19

接合部の状況の検査。融着部にできるビード（圧接に伴い膨れ上がった肉盛状の部分）の幅と高さをノギスで検尺。上下左右の4箇所で確認、記録。規定値以下の場合はやり直し（接合部を切除し、溶着作業を再度実施）。



No 20

同上。



No 21

融着完了。



No 22

この管はガラス繊維で補強されているため、専用の補強テープで本管部と同等以上に補強。



No 23

さらに、紫外線当から保護するための保護テープを装着。
融着（接合）作業完了。



No 24

施工機材としては、クレーン車、接合機材やコントローラを載せた小運搬車のみ。



No 25

施工済み区間の状況。急勾配(20%)かつ曲がりくねった管理用道路に送水管と配水管を埋設。ダクタイル管との比較の結果、経済性、施工性を含めてポリ管を採用。
写真左上部のポンプ場から約80m上に建設する配水タンクまで揚水する。パイプの径は300mm。



No 26

急勾配かつ曲がりが多い差項条件。
この道路下に送水管（φ300×２）と配水管（φ３００）、排水管(φ200）が併設されている。



No 27

同上。高低差は80m。



No 28

最上流の配水タンク。



No 29

近隣地区へ配水するためのルート。45度近くの急勾配。ポリエチレンの一体構造をもとに、釣り配管として排水管を付設。



No 30

管路を上部アンカーから吊り下げている（ワイヤー）。管の周りは、フリーフレーム工法の骨組みをセットし、コンクリートの変わりに厚層基材吹きつけにより保護させている。

北海道開発局　灌漑用水配水路　耐圧ポリエチレンリブ管施工現場　ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ調査結果整理票

[土木設備（水圧管路）のみを対象に調査を実施]

項　目	単位	内容、記事
［基本事項］		
設備名称		空知川右岸地区　幹線用水路布設工事（の一部）
所在地		北海道　富良野市
設備区分		かんがい用水　配水管
事業者		北海道開発局
通水開始	年月日	平成１８年
［土木設備］		
管種		耐圧ポリエチレンリブ管（ハウエル管）
管径	mm	600～1, 100
延長	m	-----
選定理由等	選定理由	①経済性（ダク管との比較） ②地盤追従性（泥炭地対応） ③水密製（融着接合） ④埋戻材に現場発生材が使用可能なこと
	メンテナンス	基本的にメンテナンスフリー
	利点	①粗度係数が小さいため，ロスを小さく押さえられる。 ②軽い ③弾性係数が小さいため水撃圧が小さくてすむ
	品質管理	①試験施工の結果を反映 ②メーカー基準に準じて施工管理 ③継手に対して，現場水密試験を実施。
	その他	①接合部が雪などで濡れると，接合不良を起こす可能性がある。 ②φ６００以下では塩ビ管，φ１１００以上ではFRPMが有利と判断した。



No 1

リブ管(右側)と異形管(左側、FRP製)の接合部。フランジ継手。



No 2

同上



No 3

同上。奥側がリブ管。接合(溶着)が終了後、現場発生材により埋め戻し。基礎部のみ吸出し防止シートと砂利を付設。



No 4

現場に置かれていたリブ管。Φ600。11mもので搬入後、調整のため切り取られた部分。



No 5

溶着を制御するコントローラ。国内産。Φ1100まで対応。継手部の挿口、受口を清掃・挿入後、受口部に埋め込まれた電熱線端子にコードを接続。電熱線は200℃まで加熱。溶着時間は30分。



No 6

同上。口径700㎜の場合は、28Vにセットする。写真下のカードは、誰が操作したかを記録するためのバーコードが入っている。施工者を明確にするもの。



No 7

コントローラー側の端子。継手部受口に埋設された電熱線に接続する。



No 8

現場発生材による埋戻しを行った状況。現場は泥炭を含む火山灰土であり、比重は1.1程度と軽い。



No 9

埋設完了した現場。設計上、車両等の城砦荷重は考慮していない。最大荷重は積雪時に発生する。

巻末資料－４　海外機器採用者（国内）
アンケート結果集計表

アンケート回答内容一覧（事業者）

事業者1-1

質問内容		事業者			
		東北電力株式会社	中部電力株式会社	関西電力株式会社	中国電力株式会社
1．ご回答者の所属等		土木建築部　水力土木G	工務部　発変電G　水力担当	電力システム事業本部　水力変電G	流通事業本部　発電担当
2．海外から導入した水車･発電機等の電気機器(出力500kW以下)の実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で、実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。		これまで実績はございません。 ※国内メーカ責任において，水車構成部品の一部(ケーシング，ドラフト管)に海外品を採用した実績のみです。(出力８０００kWクラス)	①　井の面発電所（出力300kW）　水車；プロペラ水車 ･326kW、発電機；誘導発電機300kW（水中タービン） ②　東河内発電所（出力170kW）　水車；クロスフロー水車 ･184kW、発電機；誘導発電機･174kW ③　易老沢発電所（出力250kW）　水車；クロスフロー水車 ･276kW、発電機；誘導発電機･294kW 導入の目的；コストダウン	水車：最大出力202kW　使用水量0.295m3/s　型式HT-1R 回転数720rpm 導入目的：ｺｽﾄ削減	･近年海外から水車･発電機機器等を直接購入した経緯は無いが，約100年前の海外製品が現在，営業運転を行っているので保守の参考として記載する。 発電機×１台　GE製　２００kVA　１９０７年製････導入経緯は不明
3．海外からの調達は代理店、国内メーカーを経由していますか、又は直接購入でしょうか。		（回答なし）	上記①；国内代理店経由 上記②、③；海外メーカから直接購入	国内メーカー経由	･１００年前の製品であり詳細な経緯は不明
4．海外から調達した水車･発電機等の電気機器について、納入時、据付時、運開以降に発生したトラブル、不具合等があればその内容（故障箇所等事例）と事業者、代理店･メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。		（回答なし）	水位調整装置の水位計（海外メーカから購入した水車･発電機の付属品）が、運開以降に故障した実績がございます。復旧は、同等品を国内メーカから購入し、取り替えを弊社の関係会社で実施した。 ギアボックスの故障が運開以降に発生し、国内代理店経由で部品調達して弊社関係会社にて修理した実績がある。海外の製作メーカが水力事業から撤退し、それ以降にもギアボックスの故障が発生し、対応に苦慮しております。	納入時、据付時：海外メーカーの提出図面が簡素なものであったため、元請国内メーカーが適宜補完。 運開以降：事故障害はなし	･過去のﾄﾗﾌﾞﾙは不明であるが，近年は特に無し。
5．故障、部品交換が必要になった場合、どのような対応をとられたのでしょうか。あるいは、今後、どのように対応をとられる計画でしょうか。また、故障修理、部品の製作などについて、国内での対応の実績･計画･可能性を教えてください。		（回答なし）	故障時の対応実績；前記4に記載 今後の部品交換･故障時の対応の方針；ｺｽﾄ面および納期等を勘案し、その都度、国内調達または購入メーカから調達を検討することで考えている。	故障対応、部品交換の実績はなし 今後、国内メーカ（据付実施メーカ）にて対応する計画である	･1987年に国内メーカーによって固定子の絶縁再処理等を行った。
6．故障修理、部品の製作などの国内対応について、国内水車メーカー関連工場などによる対応のほか、地元の一般工場による対応、一般市販部品（規格品）による対応などの事例があれば教えてください。		（回答なし）	事例は、前記4に記載	事例なし	･1987年に国内メーカーによって固定子の絶縁再処理等を行った。
7．海外調達のﾒﾘｯﾄ･ﾃﾞﾒﾘｯﾄについて、率直なご意見をいただけないでしょうか。	《ﾒﾘｯﾄ》	海外メーカが保有する新技術，設計思想の導入等といった効果が期待できるが，最も期待するコストダウンは近年の国内メーカ価格低減傾向を受けてその効果が薄れていると思われる。	○　安価	･初期ｺｽﾄが大幅に減 ･知見の拡大	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
	《ﾃﾞﾒﾘｯﾄ》	トラブル発生時のメーカ技術員派遣や部品調達等に関する迅速性で不安がある。また，購入請求手続きの業務量増大が懸念される他，国際発注に対応した新たな手法の確立が必要となる。	○　詳細図面等が提出されない。標準仕様の変更等ができない。（できても高額要求をされる） ○　故障時の部品調達に時間がかかる。	･ﾄﾗﾌﾞﾙ時の迅速な対応ができるか懸念あり（国内ﾒｰｶ経由の場合は多分ＯＫ） ･メンテナンスコストが増大する懸念あり（一般的には部品が高い）	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
8．国際調達に際しての一般仕様及び技術仕様が国内メーカーと異なる点は何でしょうか。また、その納入業者選定における審査項目を教えてください（差し支えない範囲で結構です）。		（回答なし）	○　適用規格が国内メーカとは異なっている。 ○　納入実績および工場視察等により、購入メーカを選定している。	仕様書の相違点はなし。 国内メーカー経由であり海外メーカー選定は国内メーカー責任。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
9．国内業者と海外業者の比較となった時、保守･メンテナンスへの対応の容易さなどは、どのように評価されたのでしょうか。		（回答なし）	５００kW以下の水車･発電機の購入に関しては、評価していない。 ただし、購入メーカ選定時に、弊社および弊社の関係会社で保守･メンテナンスができることを確認している。	国内メーカー経由で海外機器を調達し、国内メーカーをメンテナンスおよび部品供給の窓口とした。ﾄﾗﾌﾞﾙ内容によっては復旧遅延を覚悟。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
10．機器の据付に際して、納入業者の技術者が現場で指導に当たられたのでしょうか（据付時の体制を教えてください）。		（回答なし）	前記、「2．」の納入実績の①；現地で海外メーカの技術指導を受けた。 前記、「2．」の納入実績の②、③；納入メーカからの現場での指導は、受けておりません。 （弊社および弊社の関係会社にて据付を実施した。）	据付は国内メーカー。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
11．機器据付完了時の試験（引渡し条件確認）などは、どのような基準に準じて実施されたのでしょうか。		（回答なし）	前記、「2．」の納入実績の①；発電所持ち込み渡し 前記、「2．」の納入実績の②、③；海外の港渡し（海外･国内輸送は、輸送会社に委託） 基準は設けておりませんが、国内代理店経由で購入時は、現地持ち込み渡し、海外直接購入時は、海外の港渡しまたは海外メーカの工場渡しのどちらかで海外メーカと調整することで考えております。	国内と相違なし。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。

質問内容			事 業 者			
			東北電力株式会社	中部電力株式会社	関西電力株式会社	中国電力株式会社
12	．機器の保証期間･保証項目を教えてください。通常の国内の機器と比べて、どのような違いがあるのでしょうか。		(回答なし)	保証期間；1年　保証項目；購入メーカの設計･製作等による故障が発生した場合の復旧および最低限必要な性能保証（発生出力、鉄管最大水圧に関する事項など） （500kW以下の水車･発電機購入に関しては、国内メーカから購入する場合と同じ）	国内と相違なし。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
13	．業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。		(回答なし)	シーケンス、構造･組み立て図、基礎加重に関する資料、取り扱い説明書	機器配置図･水車組立平面図･水車構造断面図･ノズル及びニードル組立図等	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
14	．図面を記述する規格を教えてください。また、記載は英語または日本語でしょうか。		(回答なし)	規格は、指定していない。（購入メーカの標準） 記載は、英語	規格は国内と相違なし。 言語は日本語（国内メーカーにて邦訳）。	近年の直接購入した実績が無いため意見無し。
15	．トラブル時の費用負担をどう考えていますか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。	《 1.ﾒｰｶｰ設計ﾐｽの場合》	(回答なし)	保証期間内の場合は、納入メーカの負担 保証期間後の場合は、事業者の負担	･メーカーへ費用負担を要求	通常は国内物件と同様に，かし担保期間内であれば納入者側で負担し，かし担保期間を越えた場合は協議により負担割合を決めるように契約を結ぶ。ただし，個別に費用負担を決める場合もある。
		《 2.製作不良の場合》	(回答なし)	保証期間内の場合は、納入メーカの負担 保証期間後の場合は、事業者の負担	･製作者へ費用負担を要求	1と同様
		《 3.取扱不良の場合》	(回答なし)	事業者の負担	･取扱者（ユーザー）の負担	(回答なし)
16	．その他、海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項、懸案事項、ご意見など、ご助言をお願いいたします。		国内仕様適用による価格アップが懸念されることから，海外メーカ標準仕様の採用可否確認やマイクロ･小水力機器の仕様統一化検討が求められる。	５００ｋW以下を前提とすれば、海外調達の目的はコストダウンのため、海外メーカの標準品をそのまま購入することが必要と考えます。仕様の変更や、詳細図面の要求等は行わないことが重要と考えます。	コストダウンの効果は2割から3割くらいであった。配慮事項としては、仕様書（契約書）に要求事項をきっちりと記載しなければ、細かいところでも追加要求してくる。また、図面についても国内よりかなり簡易で数も少ないので必要であれば最初の要求事項にきっちりと記載する必要がある。	海外機器導入にあたっては，機器仕様，引渡し条件，保証，メンテナンスの体制等を十分に確認･検討する必要がある。

アンケート回答内容一覧（事業者）

事業者2-1

質問内容	事業者			
	電源開発株式会社	群馬県企業局	木島平村	桐生市黒保根支所
1．ご回答者の所属等	ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ事業部　発電技術G	発電課電力G	商業課商工観光係	総務課庶務係
2．海外から導入した水車･発電機等の電気機器（出力500kW以下）の実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で、実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。	500kW以下の小容量のもので、営業運転に適用した実績なし。ただし、研究レベルで、海外(中国)製水車(400kW)の購入実績あり。 (以下は、主に、水車:4200kW, 発電機:4100kVA　の札内川発電所の実績に基づくものとする。)	水車（120kW　ターゴインパルス、イギリス）1台及び当該発電所入口弁（φ450 蝶型弁、フランス）	水車：ギルケス（イギリス）、定格出力　112kW　効率が良い	1，機種 オーストリア製　マイクロ水力発電機　PT09-V4 2，タービン ハウジング：鋳鋼（GGG50） 入口ﾌﾗﾝｼﾞ：DN200、ﾗﾝﾅｰ：ペルトン型、アルミ合金、ピッチ径315mm、ノズル：4本　28mmφ（最大）、手動、アルミ製 3，駆動部 駆動方法：ﾍﾞﾙﾄ、回転数：ﾌﾟｰﾘｰ径は有効落差に調整 4，発電機 タイプ：自励磁非同期発電機、AVR内臓、出力：3相400V（22kWh） 5，制御盤 タイプ：屋内仕様、タービンに取り付け、保護装置：OVR、OCR、ELCV、MCCB（出力）、コントローラ：負荷コントローラ　0-100%、ダミー抵抗はタービンに取り付け
3．海外からの調達は代理店、国内メーカーを経由していますか、又は直接購入でしょうか。	当社では、海外メーカーとの直接契約を原則としている。	国内メーカー（㈱東芝）に対し、水車、発電機及び補機類を一括発注し、その結果として水車、入口弁が海外仕様となった。	（株）田中水力機械製作所	国内代理店を経由しています。
4．海外から調達した水車･発電機等の電気機器について、納入時、据付時、運開以降に発生したトラブル、不具合等があればその内容（故障箇所等事例）と事業者、代理店･メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。	(水車) 納入時･･･主軸封水廻り設計不良、GV廻り清掃不良、 保証期間後･･･部品供給に関しての体制不備 (発電機) 納入時･･･工場立会試験不合格(設計不良による保証効率の未達)、通風設計不良による軸受温度保証値の逸脱 何れの不具合についても、直接相手メーカーと交渉	当該ケースにおいては、運開後におけるトラブル対応時、海外機材との事由で障害になったケースはほとんどない。ただし、据付工事時においては、図面等の外国語表記、規格判断において時間を費やした。	（回答なし）	国内代理店のエンジニアにより、2年間無償にて対応いただきました。
5．故障、部品交換が必要になった場合、どのような対応をとられたのでしょうか。あるいは、今後、どのように対応をとられる計画でしょうか。また、故障修理、部品の製作などについて、国内での対応の実績･計画･可能性を教えてください。	保証期間内であれば、契約メーカーより取り寄せた。 今後は、国内メーカーで部品製作する方向(対象は、30MW以下のフランシス水車)。 弱点ピン、GVブッシュ、ライナ類は、既に国内メーカーにて作成している。	発注先である㈱東芝を経由し実施しており、特段の問題はない。	（回答なし）	（回答なし）
6．故障修理、部品の製作などの国内対応について、国内水車メーカー関連工場などによる対応のほか、地元の一般工場による対応、一般市販部品（規格品）による対応などの事例があれば教えてください。	新設時、水車主軸封水廻りに設計ミスがあったため、建設現場の地元の工場にて手直しを行った。	該当なし	（回答なし）	水車の放水部が、想像以上に　しぶき　が上がり、室内が結露したため、地元の板金工事店によりステンレス製の囲いを水車本体に溶接しました。
7．海外調達のメリット･デメリットについて、率直なご意見をいただけないでしょうか。（メリット）	海外メーカーを引き込んだ国際競争入札にすることにより、国際価格での購入が可能。	イニシャルコストの低減が可能	（回答なし）	マイクロ水力発電機は、国内メーカーより安価であること。
（デメリット）	コストダウンが図れるものの、品質は明らかに低下する。(設計不良、製作工程管理不良、品質管理不良、消耗品等の部品調達の高コスト化など) また、保証期間終了後の対応は、国内メーカーに比べて極めて悪い。	一般的には保守（迅速性、効率性）時の対応に不安があるのではないか。	（回答なし）	技術的に海外メーカー部品の特質を把握しづらい面がある。
8．国際調達に際しての一般仕様及び技術仕様が国内メーカーと異なる点は何でしょうか。また、その納入業者選定における審査項目を教えてください（差し支えない範囲で結構です）。	現在では、国内競争入札であっても、国際競争入札を前提の仕様書としているため、国際調達の場合の仕様が特殊仕様となることは有り得ない。納入業者選定にあたっては、財務状況、製作実績、納期遅延実績の有無、および、当社が今まで付き合ってきた経験を基に総合的に判断する。	技術的仕様は調達方法によって差異はないが、国際調達（国際入札）を行う際には、「政府調達に関する協定」（H7年条約第23号）に基づき、会社経営状況等に係る審査を行う必要がある。	（回答なし）	調達時に、完全受注生産のため、工事発注後でなければ生産に入れなかったため、納期に時間がかかった。納入業者については、コストと実績を重視。
9．国内業者と海外業者の比較となった時、保守･メンテナンスへの対応の容易さなどは、どのように評価されたのでしょうか。	メンテナンスについては、国内メーカーと直接比較検討はしていないが、契約時に、国内に対応窓口を設置(運開から最低7年間)することを義務付けている。	該当なし	（回答なし）	変わりはない。
10．機器の据付に際して、納入業者の技術者が現場で指導に当たられたのでしょうか（据付時の体制を教えてください）。	基本的に、契約メーカー本工場からのSV派遣を義務付けている。ただし、契約メーカーが、国内メーカーと提携し、国内メーカーから指導員を派遣させることもある。	現場技術者としてはイギリス（ギルバートギルケス＆ゴードン社）からは指導に来ていない。（営業担当者からの説明のみあり）	（回答なし）	納入業者と、水車代理店の技術者の対応。
11．機器据付完了時の試験（引渡し条件確認）などは、どのような基準に準じて実施されたのでしょうか。	特に変わったことはなく、国内メーカーと同一の扱いである。	国内基準	（回答なし）	系統連携の保安上の危機想定や水位や圧力の低下時の安全確認。最低（最高）出力時に安定度等。

質問内容			事業者			
			電源開発株式会社	群馬県企業局	木島平村	桐生市黒保根支所
12	．機器の保証期間･保証項目を教えてください。通常の国内の機器と比べて、どのような違いがあるのでしょうか。		保証期間、保証項目は国内の場合と同じ。	受注先は㈱東芝であるため、他発電所の国内機器類と同等。	（回答なし）	かし担保　通常2年。重大な過失については、10年間請求できる。
13	．業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。		当社では、必要最低限の提出しなければならない図面･図書を仕様書で指定しており、その記載内容も仕様書に記載している。これに従いメーカーは承認図書を提出することとなるが、必ずしもその通りに提出できない(技術的に劣る)メーカーも存在する	工事完成図書として他発電所工事と同様。（ただし、一部図面については英語表記）	（回答なし）	取り扱い説明書。
14	．図面を記述する規格を教えてください。また、記載は英語または日本語でしょうか。		規格については、極力国際規格に準拠することを基本とする。記載は日本語または英語である。	特段の規格はないが、水車については通常、水車配置図（平面及び縦断図で構造物との関係が理解できるもの）、水車組立図、水車構造図、ランナー操作機構構造図等を要求し、原則、日本語表記で依頼している。	（回答なし）	本書は英語。代理店により日本語訳のものを提出させた。
15	．トラブル時の費用負担をどう考えていまか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。	《 1.メーカー設計ミスの場合》	メーカー負担	受注者負担	メーカー負担	メーカー負担
		《 2.製作不良の場合》	メーカー負担	受注者負担	請負業者負担	請負者負担
		《 3.取扱不良の場合》	所有権移転前であればメーカー。所有権移転後であれば据付業者または当社。	場合によっては発注者負担	管理者負担	管理者負担
16	．その他、海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項、懸案事項、ご意見など、ご助言をお願いいたします。		コストダウンは、海外機器の導入よりも、海外メーカーを競争に参加させることにより国際競争入札にすることが大きく影響する。それにより国内メーカーであっても、ある程度のコストダウンは可能である。　ただし、低コスト･高品質のものは有り得ないので、価格並の事前配慮が必要。(特に海外メーカーを信用しないことが重要)　　また、海外メーカーは設計思想が異なることが多いので、こちらの仕様書に合わせるよりも、メーカーの標準仕様をいかに受け入れるかがポイントとなる。海外メーカーは、自社標準仕様以外のものを作ることはできないとの認識をすべき。	当該ケースの場合には、適応水車から結果的に海外仕様となったが、国内メーカー市場をより活性化させていくためにも、ユーザーとして、海外直接調達を視野に入れていくべきではないかと考える。	（回答なし）	このような、調査により海外製品と国内製品の比較研究を行い、国内製品のコスト縮減につながれば国内メーカーへの需要や水力発電導入への増加が期待できると考えます。

アンケート回答内容一覧（代理店、国内メーカー）

質問内容	代理店 株式会社ひまわりニューエネルギー	 豊国工業株式会社	 株式会社ハンテック
1．ご回答者の所属等	技術部	環境事業部　営業グループ	
2．海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力500kW以下)の納入実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で、実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。	2002年の弊社設立以来、2005年12月現在までの納入実績は下記の6件です。 （全て500kW以下で、これ以上の容量のものはありません） 1．ひまわり第一発電所(2003年3月) He=5.5m, Qmax=0.15m3/s, P=4.8kW、 クロスフロー水車、誘導発電機、系統連系、チェコ・シンク社　目的：自社研究用、自社電源として。 2．長野県大町市　小西水力発電所(2003年7月) He=2.0m, Qmax=0.6m3/s, P=8kW サイフォン式プロペラ水車、誘導発電機、系統連系、チェコ・マーベル社　目的：実証試験 3．山梨県北杜市　三分一湧水公園発電所(2004年5月) He=7.0m, Qmax=0.03m3/s, P=1kW クロスフロー水車＋同期発電機（商品名：マイクロターボ）、単独系統、チェコ・シンク社 目的：環境教育、公園内電源供給 4．山梨県富士吉田市　山一水力発電所(2004年7月) He=16.4m、Qmax=1.0m3/s, P=132kW, フランシス水車、誘導発電機、系統連系（余剰売電）、チェコ・マーベル社 目的：ビジネス(工場電源、プール施設電源、余剰売電) 5．山梨県都留市家中川小水力市民発電所(2005年10月) He=2.0m, Qmax=2.0m3/s, P=20kW 開放型下掛け水車、PMG+インバータ、系統連系（余剰売電）、ドイツ・ハイドロワット社 目的：市役所電源、環境教育 6．京都市嵐山保勝会水力発電所 He=1.74m, Qmax=0.55m3/s, P=5.5kW サイフォン式プロペラ水車、誘導発電機、系統連系(余剰電力売電)、チェコ・マーベル社 目的：渡月橋の照明用電源	1．星野温泉(昭和55年) He=9.0m, Qmax=1.20m3/s, P=84.2kW、 横軸クロスフロー水車、独立電源、オズバーガー社 2．星野温泉(昭和55年) He=10.6m, Qmax=1.20m3/s, P=99.7kW、 横軸クロスフロー水車、独立電源、オズバーガー社 3．金沢市企業局　新寺津発電所(昭和56年) He=52.7m, Qmax=1.10m3/s, P=465kW、518rpm 横軸クロスフロー水車、系統連係、オズバーガー社 4．中部電力株式会社　井の面発電所(平成3年) He=9.35m, Qmax=4.063m3/s, P=300kW、518rpm 横軸プロペラ水車、系統連係、フリクト社 5．大川村農業協同組合　白滝小水力発電所(平成4年) He=65.7m, Qmax=0.13m3/s, P=60.0kW、1,200rpm 横軸クロスフロー水車、系統連係、オズバーガー社 6．金沢市企業局　新寺津発電所(平成8年) He=52.7m, Qmax=1.10m3/s, P=465kW、518rpm 横軸クロスフロー水車、系統連係、オズバーガー社 7．富山県砺波農林事務所　示野発電所(平成9年) He=8.29m, Qmax=8.63m3/s, P=580kW、344rpm 横軸プロペラ水車、系統連係、フリクト社 8．北海道旭川開発建設部　しろがねダム(平成14年) He=47.1m, Qmax=2.70m3/s, P=1,047kW、730rpm 横軸クロスフロー水車、系統連係、オズバーガー社	1．長野県長谷村藪沢（縦軸4射ペルトン水車・同期発電機） 水車：　H=44.8m,　Q=0.031m3/s,　n=864min-1,　P=12kW 発電機：　P=9.9kW,　V=440V,　Hz=60Hz,　n=1800min-1 2．群馬県桐生市黒保根（縦軸4射ペルトン水車・同期発電機・パワーコンディショナー） 水車：　H=67.7m,　Q=0.0456m3/s, n=1060min-1,　P=26kW 発電機：　P=22kW,　V=440V,　Hz=50Hz,　n=1500min-1
3．海外から調達した水車・発電機等について、調達先メーカーが出力の規模等により、さらに他のメーカー（下請け）のものを採用している事例もあると思いますが、その辺の実態を可能な範囲で教えてください。	弊社の提携先メーカーは、3社（チェコ・マーベル社、チェコ・シンク社、ドイツ・ハイドロワット社）ですが、いずれも水車機器については、下請けは使用せず全て自社で設計・製造しています。 なお、これらの会社は、水車機械の製造メーカーであるため、発電機や電気品などの自社製造していない物は、外部より調達しています。	国内発電機メーカはオズバーガ社から水車のみ調達する場合と、水車＋レギュレータを調達する場合があるがいずれも発電機は自己調達されている。	調達先：GUGLER HYDRO ENERGY（オーストリア）　水車 下請け：MECCALTE（イタリア）　発電機
4．〔代理店様にお聞きします〕　海外メーカーとの販売契約の締結について、貴社の対応（お考え）を教えてください。(独占販売契約等について)	弊社は、下記海外メーカー3社と、日本国内、東南アジア地域を対象とした「排他的独占販売契約」を締結しております。 (1) マーベル社（チェコ共和国）：ペルトン、フランシス、バンキ、カプラン水車 (2) シンク社（チェコ共和国）：クロスフロー水車 (3) ハイドロワット社(ドイツ)：開放型下掛け、上掛け水車 このメリットとしては、海外メーカーとの密接な協力関係、信頼関係が築けることですが、具体的には以下の点が挙げられます。 ①当社が海外メーカーの営業部門、技術部門を担当することにより、海外メーカーの経費が削減でき、ひいては、通常の代理店方式(マージンを上乗せする方式)より、コストダウンが可能となります。 ②海外メーカーは安心して、水車特性データなどの技術データを当社に提供できます。これにより、相互連絡などの無駄が省け、顧客に対して素早い対応が可能となります。 ③国際標準とは異なる日本の商習慣や顧客の要求などに対して、日本の事情に即した極め細やかな対応/サービスが可能となります また、デメリットとしては、 ①当社としては、契約した海外メーカーが製造している水車以外のものは販売できないため、他に良いい製品があっても取扱いできない。 ②海外メーカーとしては、契約した地域内では、当社を介さないで販売できないため、当社の営業力が低下した場合、メーカーの販売量も低下することとなる。 などがあります。ただし、このデメリットは当社、および海外メーカーの相互努力により回避可能と考えております。 排他的独占販売契約の特長は以上の通りですが、この契約は、顧客にとっても、経済性に優れ、また信頼性や完成度の高い海外メーカーの水車を安心して購入できる大きなメリットがあるため、海外メーカー、代理店、顧客の全てにとって、非常に有効な契約であると考えております。	日本の窓口（代理店）は当社になっています。	（回答なし）
5．海外調達のメリット・デメリットについて、率直なご意見をいただけないでしょうか。《メリット》	一般論ですが、日本の水力発電市場は、電力業界という特殊な環境下で保護され育まれてきたため、その弊害として、メーカーのシステム全体を考えた機器造りをする能力が失われ、また異常な高価格構造を招いております。特に小水力発電機器についての国際競争力は、ほとんどゼロに近いという悲惨な状況と言われております。 一方、海外メーカーは、自由競争下で生残りをかけて顧客の要求に応えた製品作りをしているため、経済的に優れた、システム完成度と信頼性の高い製品を供給できる能力を有しているメーカーがあります。 このため、このようなメーカーからの海外調達は、以下のメリットがあります。 ①顧客に、安くて良い製品を提供できます。 ②日本のメーカーの奮闘が期待できるため、日本のメーカーの発展、国際競争力の向上が図られる可能性があります。	長年に渡る経験から得られたコンセプトによりシンプルに設計された機構・構造や、無駄なサービス（図面協力等）を省くことでコストダウンしており、低廉な価格で供給できる。	低価格
《デメリット》	マクロ的に言うと、現在はボーダレスの時代であり、海外調達を否定的に捉えることは衰退を意味し、マイナスこそあれ、何のプラスも生み出さないと考えます。これをベースに「デメリット」を考えると、「デメリットは無い」という結果になりますが、しいて挙げれば下記になります。 ①海外と日本の商習慣にはギャップがあり（海外：売り手と顧客は契約上対等、日本：お客さまは神様）、このギャップをどう埋めるかに時間やエネルギーを費やすことがあります。 ②海外との距離や時差などの物理的ギャップがあるため、このギャップを埋めるため、緊急時に備えた技術要員や保守対応品などを備えておく必要があります。 ③海外メーカーは日本語による対応が出来ないため、顧客に対する図書などの日本語化の作業が発生します。	若干の変更であれば対応可能だが、メーカ標準仕様を著しく変更するような場合は、コストアップに繋がり場合によっては対応が困難になる。トラブルが発生した場合は、国内メーカに対応してもらい、適宜、遠隔からの指示を行う。ドイツから技術者が来ることは希である。	制御システムを日本の基準に合わせなければならない。制御機器の変更、改造を必要とすることがある。

質問内容			代理店		
			株式会社ひまわりニューエネルギー	豊国工業株式会社	株式会社ハンテック
6	. 使用材料、部品のうち、日本国内で手に入らない特殊なものがあれば教えてください。		基本的に、メーカー独自の加工品は、日本では手に入りません。 (ランナ本体、水車部品、発電機本体など) 電気部品は、ほとんど日本製の代替や部品組み合わせによる使用が可能と考えます。	通常、ベアリング、パッキンなどが交換部品。機器により多少変わるが国内調達可能と思われる。	部品、消耗品に関してはすでに日本国内に代理店があり国内調達可能。代理店は在庫を常備しており、納期は1週間程度。
7	. 使用部品は日本国内で製造·修理が可能でしょうか。その際、特殊な設備が必要でしょうか。また、型物の場合の対応はどのようにお考えでしょうか。各部品の予備品等は代理店もしくは国内メーカーがストックしているのでしょうか。または海外メーカーが本国にストックしているのでしょうか。		ほとんどの使用部品は、日本国内での修理が可能と考えています。機械系に関しては大型部品ではないので、特殊な設備は必要とせず町工場や自動車修理工場で十分対応可能と考えています。型物の修理に関しては、計画的修理になると考えますが、日本の技能者が対応不能であればメーカーから技能者を招き対応します。 また、電気系に関しては、日本で代替品が入手可能と考えています。 ただし、計画的な補修での部品調達は、経済的な面から、基本的に国内調達ではなく、海外メーカーからの調達と考えています。	ケースバイケース。 水車エロージョンの修理、ガイドベーンの電動化の仕様変更などは国内水車メーカに依頼することで対応可能。(実績有り) 納入時にベアリング、パッキンなど余備品として提供し、必要があればオズバーガ社から調達する。	水車の特殊部品はメーカーに製造または修理依頼を行う。特殊部品は海外メーカーでストックしている。一般的な部品は代理店でストックしている。
8	. スペアーパーツが必要になり国内に製品がない場合、納入にどのくらい時間が必要でしょうか。		部品レベルの価格も、海外調達が安いため、基本的に国内調達は考えていません。 海外メーカーから納入する場合、一般的に、汎用品/標準品であれば、クーリエを使用して3～4日程度で入手可能ですが、緊急対応のため、また輸送費などが掛かるため、あらかじめ100%の予備品を準備をしておくことを考えています。	ものによっても変わるが、輸送期間(空輸)合わせて約2週間が目安。	特殊な部品であるため4週間ほど必要。
9	. 業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。		「業者」とはメーカーと解釈して･･･。 基本的に、当社で必要な図面、図書を指定して提出してもらう方法としております。 図面：外形図、据付図面、部品図、製作図、接続図、シーケンス図等 図書：水車特性データ、発電機データ、取扱説明書、保守点検説明書等	受注前は参考配置図1枚。 契約後は納入時に配置図、基礎参考図の計2枚。余計な寸法図は記載されていない。	水車·制御盤の組立図、回路図、取扱説明書
10	. 図面を記述する規格を教えてください。また、記載は英語，日本語または現地語でしょうか。		日本の顧客に対しては、図面類はJIS規格、言語は日本語で提出しています。 (メーカーからの図書は全て英語ですが、日本向けに手直ししています)	規格：タービン入り口管口径、水車基本寸法、放流庭基本寸法、設計水頭·流量·出力、定格回転数、無拘束速度(φ、m、l／s、rpm) 記述：英語	水車＝EU規格、制御盤、発電機＝IEC規格
11	. トラブルが発生した際、貴社としてはこれまでどのような対応を取られたのでしょうか、または想定しているのでしょうか。トラブルの内容(故障箇所等事例)と代理店·国内メーカー、海外メーカー各々の対応(復旧方法等)を教えてください。		基本的に、顧客窓口対応、原因調査、対策/復旧は、全て当社で実施します。このために、アウトソーシングを含め必要な技術要員や、補修部品を全て備える方向で対応しています。 なお、原因究明に関し、メーカーでしか判らないものもありますが、これについては、メーカーに依頼します。	エロージョン：国内タービンメーカ又はエンジニアリング会社が対応。 エロージョン：タービンをＳＳからＳＵＳに更新。オズバーガ社が製作、国内タービンメーカが据付指導。 漏水：国内タービンメーカに依頼。	国内修復可能なものは修復、部品調達の必要なものは調達して修復
12	. トラブル時の費用負担をどう考えていますでしょうか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。	《 1.ﾒｰｶｰ設計ﾐｽの場合》	保証期間内であれば無償改修や修理を行います。保証期間を過ぎていれば有償、または個別協議となります。	保証期間(出荷後1年間が基本。故障により稼働開始から1年間も可能になるケースもあり)が経過していれば設計ミスでも保証範囲外。設計ミスか否か立証するのが困難。(日本のメーカのように聞き分けがよくない)	メーカー負担
		《 2.製作不良の場合》	メーカー設計ミスの場合と同様です。	同上。	メーカー負担
		《 3.取扱不良の場合》	顧客の取扱い不良が明確であれば、保証期間に限らず有償修理となります。	保証範囲外。	内容によりユーザー又は代理店負担
13	. その他、海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項、懸案事項、ご意見など、ご助言をお願いいたします。		①日本の場合、水力発電機器の業者は、土木機器(除塵機、ゲートなど)と、水車発電機器(水車、発電機など)は取り扱う業者が完全に異なりますが、小さい容量の場合、全体をひとつのシステム製品として1社で取り纏めた方が経済的に優位となります。海外の小水力メーカーは、これらのシステムをひとつと考え、除塵機、ゲート、バルブなども一緒に製造している会社もあるため、海外メーカーの機器を導入する場合、これらの土木機器も一緒に発注すると大きなコストダウンを図ることが可能と考えます。 ②一般的に、日本の顧客の要求するシステムの仕様は、国際標準、メーカー標準と多々異なるものがあります。例えば、必要以上の保護装置や監視項目の要求、二重化、3レス化要求などです。小水力の場合は、メーカー標準の設計思想を尊重し、いたずらに非標準のものを要求しないことで、コストダウンが図られます。 これに関連し、図面や図書類に提出要求にしても、メーカー標準のものをベースとし、趣味的(?)要求などは控えることが、コストダウンに繋がると考えます。 (以上は、顧客が民間や自治体の場合は特に問題ありませんが、特に電力会社系列の顧客の場合、多く見られる傾向があります) ③特に自家用発電設備として、系統連系する水力発電設備については、海外メーカーにとっては系統連系の技術要件が判りにくく、また例えば6.6kV機器の調達などは非常に困難です。 このように海外メーカーでは対応が困難なものについては、国内で調達するというように、相互に補完しあうことで、コストダウンが図られると考えます。 同時に、現行の日本の系統連系ガイドラインの技術要件について、国際標準をベースに見直しすることで、大幅なコストダウンが図られると考えます。 ④海外メーカーと一口に言っても、千差万別、多種多様で、安かろう悪かろうの製品も多いし、経営的にも問題がある会社もあります。品質や実績、与信などをしっかり調査して購入することが、本当のコストダウンになると考えます。(ただ安いからと言って海外製品を購入すると、安物買いの銭失いになる恐れあり) ⑤一番重要なコストダウンの方法は、発注者側がただ「コストダウンして欲しい」とメーカー側に要求することではなく、メーカーの供給能力、設計思想などを理解し、お互いにコストダウンとなる方法を知恵を出し合って模索することだと考えます。これが永続的な両者の発展となり、更なるコストダウンに繋がると考えます。	海外メーカの商習慣、設計思想を尊重することが重要。それが日本国内の需要化にマッチすれば(マッチさせれば)間違いなく、コストダウンにつながらると思う。リスクはあるが、思い切って海外メーカに責任施工をとらせることも必要と思う。	以前はメーカーの制御機器に不十分な点もあったが、現在は国内でこれを解決する制御機器を開発しており特に問題がなくなったため、コストダウン効果を生かして十分利用できるようになっている。

アンケート回答内容一覧（代理店、国内メーカー）

代理店、メーカ-2

質問内容		代 理 店		
		ｷﾞﾙﾊﾞｰﾄ･ｷﾞﾙｹｽ＆ｺﾞｰﾄﾞﾝ社	株式会社イズミ	
1．ご回答者の所属等		日本駐在事務所	ー	
2．海外から導入した水車･発電機等の電気機器(出力500kW以下)の納入実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で、実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。		ターゴインパルス水車の日本国への納入実績 1．1987 Nagano Pref. Magusegawa PS, Turbine Size 15inch*1jet,Effective Head 65m, Flow rate 0.229m3/s,900RPM,126.4kW 2．1993 Fukuoka Pref. Inunaki PS, Turbine Size 12inch*2jet,Effective Head 61.1m, Flow rate 0.3m3/s,1200RPM,147.0kW 3．1994 Hokkaido Power Co. Isoyagawa PS, Turbine Size 25inch*2jet,Effective Head 95.5m, Flow rate 1,669m3/s,600RPM,1,320kW 4．1997 Chubu Power Co. Karasugawa PS, Turbine Size 25inch*2jet,Effective Head 103.7m, Flow rate 1,530m3/s,720RPM,1,320kW 5．1998 Gunma pref. Aimata PS, Turbine Size 13.3inch*1jet,Effective Head 56.2m, Flow rate 0.298m3/s,772RPM,128.62kW 6．2001 New Energy Foundation Na Cha PS(Vietnam), Turbine Size 12inch*2jet,Effective Head 53m, Flow rate 0.35m3/s,1000RPM,148.0kW 7．2001 Gunma Pref. Shimokubo PS, Turbine Size 18inch*1jet,Effective Head 110.6m, Flow rate 0.323m3/s,1000RPM,291.0kW 8．2003 Hokkaido Power Co. Oguchigawa PS, Turbine Size 25inch*2jet,Effective Head 158.0m, Flow rate 2.61m3/s,900RPM,3,320kW 9．2004 Ministry of Construction Fukushima Pref. Surikami-gawa PS, Turbine Size 38inch*2jet,Effective Head 62.21m, Flow rate 2.38m3/s,333.3RPM,1,179kW 10．2006 Chubu Power Co. Akechi PS (Under Manufacturing), Turbine Size 25inch*2jet,Effective Head 122.7m, Flow rate 1.7m3/s,720RPM,1,731kW 11．2006 Saitama Pref. Takizawa PS (Under Manufacturing), Turbine Size 38inch*2jet,Effective Head 106.91m, Flow rate 4.25m3/s,428.5RPM,3,629kW 12．2006 Ministry of Construction(Yamagata Pref.) Sasanowater work (Under Manufacturing), Turbine Size 16.5inch*2jet,Effective Head 79.2m, Flow rate 0.422m3/s,750RPM,160kW	DC1KW, 500W, AC200w, 500W, 1KW など	
3．海外から調達した水車･発電機等について、調達先メーカーが出力の規模等により、さらに他のメーカー（下請け）のものを採用している事例もあると思いますが、その辺の実態を可能な範囲で教えてください。		当社は水車タービンの製作をしており、発電機については、スペイン、Alconza製を納入した場合もありますが、その対応が不十分のため考慮中。	ありません	
4．［代理店様にお聞きします］ 海外メーカーとの販売契約の締結について、貴社の対応（お考え）を教えてください。（独占販売契約等について）		当社は代理店を日本に持っておらず、今後も持つ考えは現在ありません。	（回答なし）	
5．海外調達のﾒﾘｯﾄ･ﾃﾞﾒﾘｯﾄについて、率直なご意見をいただけないでしょうか。	（ﾒﾘｯﾄ）	当社の水車は標準化しており、設計コスト面でコスト的に安価。	小型が豊富	
	（ﾃﾞﾒﾘｯﾄ）	輸送コスト増、為替変動に対する問題あり。	取引単位が少ないため輸入コストが高い	
6．使用材料、部品のうち、日本国内で手に入らない特殊なものがあれば教えてください。		特になし	（回答なし）	
7．使用部品は日本国内で製造･修理が可能でしょうか。その際、特殊な設備が必要でしょうか。また、型物の場合の対応はどのようにお考えでしょうか。各部品の予備品等は代理店もしくは国内メーカーがストックしているのでしょうか。または海外メーカーが本国にストックしているのでしょうか。		本国でストック	断線以外はベアリングの取替えのみ。断線の場合はメーカーに送り返す。ベアリングは国内調達	
8．スペアーパーツが必要になり国内に製品がない場合、納入にどのくらい時間が必要でしょうか。		受注後7～10日	代替機があれば入れ替え。巻き線場合一ヶ月	
9．業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。		客先により多少異なりますが、外形寸法図、主要部分図、基礎荷重、強度計算書	意味が解かりません。	
10．図面を記述する規格を教えてください。また、記載は英語，日本語または現地語でしょうか。		IEC、BS	意味が解かりません。	
11．トラブルが発生した際、貴社としてはこれまでどのような対応を取られたのでしょうか、または想定しているのでしょうか。トラブルの内容（故障箇所等事例）と代理店･国内メーカー、海外メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。		日本国内の水車メーカー（芦野工業、山形県）とアフターサービスの協定を結んでいる。	小型が主ですので、送り返してもらいます	
12．トラブル時の費用負担をどう考えていますでしょうか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。	（1.ﾒｰｶｰ設計ﾐｽの場合）	当社の責任	納入前に試験しますのでありえませんが、トラブルが発生した際にはケースバイケースでの協議事項とします。	
	（2.製作不良の場合）	当社の責任	納入前に不良品はチェックし検収を条件としますが、トラブルが発生した際には協議事項とします。	
	（3.取扱不良の場合）	客先責任	コストのみで補修	
13．その他、海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項、懸案事項、ご意見など、ご助言をお願いいたします。		日本の場合、300kW～15,000kWの水車も同様の資料提出要求あり。容量により最低限の資料の要求をされるべきと思います。	河川の使用許可が出ないのが問題	

アンケート回答内容一覧（代理店、国内メーカー）

質問内容			国内メーカー			
			株式会社 クボタ	富士電機システムズ株式会社	株式会社　日立製作所	株式会社　明電舎
1	．ご回答者の所属等		民需海外ポンプ部　技術課	エネルギーソリューション統括部	火力水力事業部　水力技術部	発電制御装置部
2	．海外から導入した水車・発電機等の電気機器(出力500kW以下)の納入実績をご提示いただけないでしょうか。可能な範囲で、実績のある機種の内容（仕様）及び導入した際の主目的を記載していただければ幸いです。		当社では、日本国内向けに海外製品を用いたことはありません。 日本製では価格競争力が無いため、海外向けには海外メーカーの発電機（単品）、ダミーロードを用いることがあります。	長野県長谷村薮沢（立軸4射ペルトン水車・同期発電機） 水車：H=44.8m,Q=0.031m3/s,n=864min-1,P=12kW 発電機：P=9.9kW,V=440V,Hz=60Hz,n=1800min-1	当社では、５００ｋW以下の水車・発電機等の電気機器は海外からの導入実績はありません。	ターゴインパルス水車（291kW-109.8m-0.323m3/s）、事業用として使用
3	．海外から調達した水車・発電機等について、調達先メーカーが出力の規模等により、さらに他のメーカー（下請け）のものを採用している事例もあると思いますが、その辺の実態を可能な範囲で教えてください。		わかりません。	調達先：ググラー社（オーストリア）、水車 下請け：メッカルテ社（イタリア）、発電機	（回答なし）	孫請けの経験なし
4	．【代理店様にお聞きします】　海外メーカーとの販売契約の締結について、貴社の対応（お考え）を教えてください。(独占販売契約等について)		――	――	――	個別購入契約を原則
5	．海外調達のメリット・デメリットについて、率直なご意見をいただけないでしょうか。	《メリット》	価格競争力 海外向けの書類充実	低価格	・海外メーカの標準設計（仕様）を導入できれば、国内にて製作するより安価になると思われる。	低コスト、据付容易
		《デメリット》	納期品質管理の手間 クレーム対応の遅れ	品質が不十分	・国内の発注仕様書によっては、標準設計（仕様）以外の仕様では、導入できないかもしくは改造 費用がかかると思われる。 ・図面等の提出は困難と思われる。 ・導入後の保守対応の問題及び部品調達に時間を要すると思われる。	保守拠点が日本に無い、必要な要求図面が出ない/遅い/限定される。 保守部品が調達しにくい。
6	．使用材料、部品のうち、日本国内で手に入らない特殊なものがあれば教えてください。		（回答なし）	特になし	（回答なし）	水車ランナ 海外製電気品（ケースバイケースだが）
7	．使用部品は日本国内で製造・修理が可能でしょうか。その際、特殊な設備が必要でしょうか。また、型物の場合の対応はどのようにお考えでしょうか。各部品の予備品等は代理店もしくは国内メーカーがストックしているのでしょうか。または海外メーカーが本国にストックしているのでしょうか。		日本国内で製造・修理が可能だと思うが、海外向けのため、特に調査したことはない。	消耗品の軸受とベルトは国内調達可能。 水車本体は修理可能。 予備品は海外メーカーが工場にストックしている。	（回答なし）	メーカー本国で部品ストックが原則と考える。
8	．スペアーパーツが必要になり国内に製品がない場合、納入にどのくらい時間が必要でしょうか。		海外製品でもスペアパーツの製作にかかる日数は日本製とかわらない。　輸送、通関に余分な日数がかかる。	2週間～4週間	（回答なし）	最低でも6ヶ月以上と考える。
9	．業者から提出された図面及び図書の一覧を教えてください。		（回答なし）	何もなし	（回答なし）	主機外形基礎図、主機各部組立図、主要部品図、取扱説明書、等
10	．図面を記述する規格を教えてください。また、記載は英語，日本語または現地語でしょうか。		英語	標準図面はドイツ語でDIN規格	（回答なし）	ＩＥＣが原則、記載は英語
11	．トラブルが発生した際、貴社としてはこれまでどのような対応を取られたのでしょうか、または想定しているのでしょうか。トラブルの内容（故障箇所等事例）と代理店・国内メーカー、海外メーカー各々の対応（復旧方法等）を教えてください。		技術的なことに関しては、海外メーカーとの直接のやりとりとなる。	代理店を通して部品を購入	（回答なし）	個別契約が国内メーカー経由のため、まず国内メーカーへ連絡し、そこから海外調達先に連絡してもらい、対応してもらう。
12	．トラブル時の費用負担をどう考えていますでしょうか。下記のそれぞれのケースでご回答願います。	《 1.メーカー設計ミスの場合》	メーカー	標準品としているので設計ミスはない。基本的に欧州メーカーは売り切りで日本のような無償のアフターサービスはあり得ない。	（回答なし）	保守期限終了で契約解除される。
		《 2.製作不良の場合》	メーカー	上記と同じ	（回答なし）	（回答なし）
		《 3.取扱不良の場合》	ユーザー	上記と同じ	（回答なし）	（回答なし）
13	．その他、海外機器導入によるコストダウンの効果及びコストダウンを実現するための配慮事項、懸案事項、ご意見など、ご助言をお願いいたします。		一般的に海外メーカーはオーダー設計を行なわない。　彼らの製品ラインナップから最適なものを探し出すことがポイント。	品質よりも価格を優先する顧客には推奨する	海外調達する場合、海外メーカの標準設計（仕様）のものを導入できるのであればコストダウンを図れると思われます。	（回答なし）

巻末資料－５　一般市販管に関する検討資料

巻末資料－５　一般市販管に関する検討資料

一般市販管に関する資料については，平成 15～16 年度の報告書を参照。

巻末資料－６　一般市販管による水圧管路技術基準(案)

巻末資料－６　一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子

一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子については，本報告書の表III-1.11 を参照。